

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-231619

(P2002-231619A)

(43) 公開日 平成14年8月16日 (2002.8.16)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
H 0 1 L 21/027		C 0 2 B 3/00	A 2 H 0 4 2
G 0 2 B 3/00		5/04	F 2 H 0 5 2
5/04		19/00	5 F 0 4 6
19/00		G 0 3 F 7/20	5 2 1
G 0 3 F 7/20	5 2 1	H 0 1 L 21/30	5 1 5 D
審査請求 未請求 請求項の数38 O L (全 35 頁)			

(21) 出願番号 特願2001-74240 (P2001-74240)  
(22) 出願日 平成13年3月15日 (2001.3.15)  
(31) 優先権主張番号 特願2000-363225 (P2000-363225)  
(32) 優先日 平成12年11月29日 (2000.11.29)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004112  
株式会社ニコン  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号  
(72) 発明者 谷津 修  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内  
(72) 発明者 渋谷 真人  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内  
(74) 代理人 100095256  
弁理士 山口 孝雄

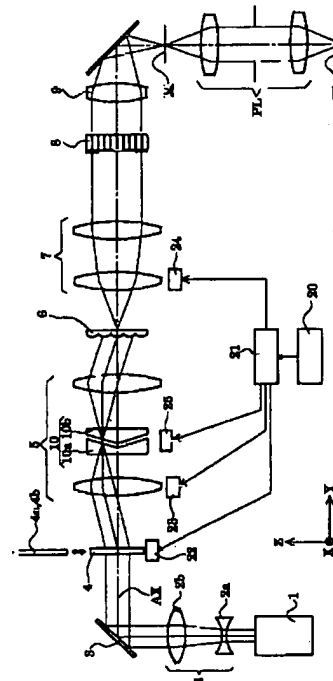
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 照明光学装置および該照明光学装置を備えた露光装置

(57) 【要約】

【課題】 被照射面上の直交する二方向で互いに異なる照明条件を実現することのできる照明光学装置。

【解決手段】 光源手段(1)からの光束に基づいて第1多数光源を形成するための第1オプティカルインテグレータ(6)と、第1多数光源からの光束に基づいてより多数の第2多数光源を形成するための第2オプティカルインテグレータ(8)との間の光路中に、第2多数光源の全体の大きさを相似的に変更するための変倍光学系(7)が配置されている。また、第1オプティカルインテグレータへの入射光束の所定方向に沿った入射角度を変化させるために入射光束の縦横比を変更する縦横比変更素子(10)を備えている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光源手段からの光束に基づいて第1多数光源を形成するための第1オプティカルインテグレータと、前記第1多数光源からの光束に基づいてより多数の第2多数光源を形成するための第2オプティカルインテグレータとを備え、前記第2多数光源からの光束で被照射面を照明する照明光学装置において、

前記第1オプティカルインテグレータと前記第2オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置されて、前記第2多数光源の全体の大きさを相似的に変更するための変倍光学系と、

前記第1オプティカルインテグレータへの入射光束の所定方向に沿った入射角度を変化させるために前記入射光束の縦横比を変更する縦横比変更素子とを備えていることを特徴とする照明光学装置。

【請求項2】 光源手段からの光束に基づいて多数光源を形成するためのオプティカルインテグレータと、該オプティカルインテグレータからの光束を被照射面へ導くための導光光学系とを備えた照明光学装置において、前記光源手段からの光束を所定の断面形状を有する光束または所定の光強度分布を有する光束に変換するための光束変換素子と、

前記光束変換素子と前記オプティカルインテグレータとの間の光路中に配置されて、前記オプティカルインテグレータへの入射光束の所定方向に沿った入射角度を変化させるために前記入射光束の縦横比を変更する縦横比変更素子とを備えていることを特徴とする照明光学装置。

【請求項3】 前記縦横比変更素子は、光軸を中心として回転可能に構成されていることを特徴とする請求項1または2に記載の照明光学装置。

【請求項4】 前記縦横比変更素子は、前記オプティカルインテグレータまたは前記第1オプティカルインテグレータへの入射光束の第1方向に沿った入射角度を変化させるための第1縦横比変更素子と、前記オプティカルインテグレータまたは前記第1オプティカルインテグレータへの入射光束の前記第1方向と直交する第2方向に沿った入射角度を変化させるための第2縦横比変更素子とを有することを特徴とする請求項1または2に記載の照明光学装置。

【請求項5】 前記縦横比変更素子は、前記所定方向に沿って凹状断面の屈折面を有する第1プリズムと、該第1プリズムの前記凹状断面の屈折面と相補的に形成された凸状断面の屈折面を有する第2プリズムとを有し、前記第1プリズムおよび前記第2プリズムのうち少なくともいずれか一方が光軸に沿って移動可能に構成されていることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の照明光学装置。

【請求項6】 前記第1プリズムの前記凹状断面は、V字状の形状を有することを特徴とする請求項5に記載の照明光学装置。

【請求項7】 請求項1乃至6のいずれか1項に記載の照明光学装置と、前記被照射面に配置されたマスクのパターンを感光性基板上に投影露光するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項8】 請求項7に記載の露光装置により前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する露光工程と、前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

【請求項9】 被照明物体を照明する照明光学系を備えた照明光学装置において、

前記照明光学系は、該照明光学系の瞳での照明光の大きさおよび形状のうちの少なくとも一方を可変とする可変手段を備え、

前記可変手段は、前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位手段と、

前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位手段と、

前記照明光の大きさを可変とする変倍光学系とを有することを特徴とする照明光学装置。

【請求項10】 前記照明光学系は、前記照明光の形状を所望の光束形状に変換し、該所望の光束形状に変換された照明光を前記可変手段へ導く光形状変換手段を備えていることを特徴とする請求項9に記載の照明光学装置。

【請求項11】 前記光形状変換手段は、前記照明光の形状を第1の光束形状に変換する第1回折光学部材と、該第1回折光学部材と交換可能に設けられて前記照明光の形状を第2の光束形状に変換する第2回折光学部材とを有することを特徴とする請求項10に記載の照明光学装置。

【請求項12】 前記照明光学系は、前記可変手段と前記被照明物体との間の光路中に配置されて前記被照明物体を均一に照明するオプティカルインテグレータを備えていることを特徴とする請求項9乃至11のいずれか1項に記載の照明光学装置。

【請求項13】 マスクのパターンを感光性基板上に露光する露光方法において、

照明光学系を介して前記マスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターン像を前記感光性基板上に投影する投影工程とを含み、

前記照明工程は、前記照明光学系の瞳での照明光を輪帯状に変換する作用を付与する輪帯作用付与工程と、前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位工程と、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位工程とを含むことを特徴とする露光方法

法。

【請求項14】 前記照明工程は、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程をさらに含むことを特徴とする請求項13に記載の露光方法。

【請求項15】 マスクのパターンを感光性基板上に露光する露光方法において、

照明光学系を介して前記マスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターン像を前記感光性基板上に投影する投影工程とを含み、

前記照明工程は、前記照明光学系の瞳において前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に照明光を変位させる第1変位工程と、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位工程と、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項16】 マスクのパターンを感光性基板上に露光する露光方法において、

照明光学系を介して前記マスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターン像を前記感光性基板上に投影する投影工程とを含み、

前記照明工程は、前記マスクに対する照明条件を変更する変更工程を含み、

前記変更工程は、前記照明光学系の第1照明条件を設定する第1設定工程と、前記照明光学系の第2照明条件を設定する第2設定工程との少なくとも一方を選択する選択工程を含み、

前記第1設定工程は、前記照明光学系の瞳での照明光を輪帯状に変換する作用を付与する輪帯作用付与工程と、前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位工程と、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位工程とを含み、

前記第2設定工程は、前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位工程と、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位工程と、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項17】 被照明物体を照明する照明光学系を備えた照明光学装置において、

前記照明光学系は、該照明光学系の瞳での照明光の大きさおよび形状のうちの少なくとも一方を可変とする可変手段を備え、

前記可変手段は、前記照明光を所望の輪帯比を持つ輪帯状に変換する作用を付与する輪帯比可変手段と、前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位手段とを

有することを特徴とする照明光学装置。

【請求項18】 前記可変手段は、前記照明光の大きさを可変とする変倍光学系を有することを特徴とする請求項17に記載の照明光学装置。

【請求項19】 前記可変手段は、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位手段を有することを特徴とする請求項17または18に記載の照明光学装置。

【請求項20】 前記照明光学系は、前記照明光の形状を所望の光束形状に変換し、該所望の光束形状に変換された照明光を前記可変手段へ導く光形状変換手段を備えていることを特徴とする請求項17乃至19のいずれか1項に記載の照明光学装置。

【請求項21】 前記光形状変換手段は、前記照明光の形状を第1の光束形状に変換する第1回折光学部材と、該第1回折光学部材と交換可能に設けられて前記照明光の形状を第2の光束形状に変換する第2回折光学部材とを有することを特徴とする請求項20に記載の照明光学装置。

【請求項22】 前記照明光学系は、前記可変手段と前記被照明物体との間の光路中に配置されて前記被照明物体を均一に照明するオプティカルインテグレータを備えていることを特徴とする請求項17乃至21のいずれか1項に記載の照明光学装置。

【請求項23】 マスクのパターンを感光性基板上に露光する露光方法において、

照明光学系を介して前記マスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターン像を前記感光性基板上に投影する投影工程とを含み、

前記照明工程は、前記照明光学系の瞳での照明光の大きさおよび形状のうちの少なくとも一方を可変とする可変工程を含み、

前記可変工程は、前記照明光を所望の輪帯比を持つ輪帯状に変換する作用を付与する輪帯比可変工程と、前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項24】 前記可変工程は、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程をさらに含むことを特徴とする請求項23に記載の露光方法。

【請求項25】 前記可変工程は、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位工程をさらに含むことを特徴とする請求項23または24に記載の露光方法。

【請求項26】 前記照明工程は、前記可変工程の前に、前記照明光の形状を所望の光束形状に変換する光形状変換工程をさらに含むことを特徴とする請求項23乃至25のいずれか1項に記載の露光方法。

【請求項27】 前記光形状変換工程は、第1回折光学部材を用いて前記照明光の形状を第1の光束形状に変換する第1回折工程と、前記第1回折光学部材と交換可能に設けられた第2回折光学部材を用いて前記照明光の形状を第2の光束形状に変換する第2回折工程とを含むことを特徴とする請求項26に記載の露光方法。

【請求項28】 前記照明工程は、前記可変工程の後に、オブティカルインテグレータを用いて前記被照明物体を均一に照明する均一照明工程を含むことを特徴とする請求項23乃至27のいずれか1項に記載の露光方法。

【請求項29】 マスクのパターンを感光性基板に露光する露光方法において、

照明光学系を介して前記マスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する投影工程とを含む、

前記照明工程は、前記マスクに対する照明条件を変更する変更工程を含む、

前記変更工程は、前記照明光学系の第1照明条件を設定する第1設定工程と、前記照明光学系の第2照明条件を設定する第2設定工程との少なくとも一方を選択する選択工程を含む、

前記第1設定工程は、前記照明光学系の瞳での照明光を所望の輪帯比を持つ輪帯状に変換する作用を付与する輪帯比可変工程と、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程とを含む、

前記第2設定工程は、前記照明光学系の光軸と直交する所定方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる変位工程と、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項30】 マスクのパターンを感光性基板に露光する露光方法において、

照明光学系を介して前記マスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する投影工程とを含む、

前記照明工程は、前記照明光学系の瞳での照明光を所望の輪帯比を持つ輪帯状に変換する作用を付与する輪帯比可変工程と、前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位工程と、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項31】 マスクのパターンを感光性基板に露光する露光方法において、

照明光学系を介して前記マスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する投影工程とを含む、

前記照明工程は、前記マスクに対する照明条件を変更する変更工程を含む、

前記変更工程は、前記照明光学系の第1照明条件を設定する第1設定工程、前記照明光学系の第2照明条件を設定する第2設定工程、および前記照明光学系の第3照明条件を設定する第3設定工程のうちの少なくとも1つを選択する選択工程を含む、

前記第1設定工程は、前記照明光学系の瞳での照明光を所望の輪帯比を持つ輪帯状に変換する作用を付与する輪帯比可変工程と、前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位工程と、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位工程とを含む、

前記第2設定工程は、前記照明光を所望の輪帯比を持つ輪帯状に変換する作用を付与する輪帯比可変工程と、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程とを含む、

前記第3設定工程は、前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位工程と、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位工程と、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項32】 前記被照明物体としてのマスクを照明するための請求項9乃至12および請求項17乃至22のいずれか1項に記載の照明光学装置と、

前記マスクのパターン像を感光性基板に投影するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

【請求項33】 請求項32に記載の露光装置を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板に露光する露光工程と、

前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

【請求項34】 請求項13乃至16および請求項23乃至31のいずれか1項に記載の露光方法を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板に露光する露光工程と、

前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法。

【請求項35】 マスクのパターンを感光性基板に露光する露光方法において、

照明光学系を介して前記マスクを照明する照明工程と、投影光学系を用いて前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する投影工程と、

前記投影光学系の光学特性を計測する計測工程とを含む、

前記照明工程は、前記投影工程を実行するのに際して照明条件としての $\sigma$ 値を $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$ の範囲に設定する露光条件設定工程と、

前記計測工程を実行するのに際して照明条件としての $\sigma$ 値を $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$ の範囲に設定する計測条件設定工程とを含むことを特徴とする露光方法。

【請求項36】 前記投影工程を実行するのに際して、前記マスクと前記感光性基板とを走査方向に沿って移動させる走査工程をさらに含み、

前記照明工程は、長手方向と短手方向とを有する矩形状の照明領域を前記マスク上に形成する工程を含み、

前記照明領域の短手方向の長さ $L_s$ 、前記照明領域の長手方向の長さを $L_l$ とすると、 $0.05 < L_s/L_l < 0.7$ の関係を満たすことを特徴とする請求項35に記載の露光方法。

【請求項37】 マスクのパターンを感光性基板に露光する露光装置において、

前記マスクを照明する照明光学系と、

前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する投影光学系とを備え、

前記照明光学系は、前記マスクのパターンを前記感光性基板に露光する際に、照明条件としての $\sigma$ 値を $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$ の範囲に設定すると共に、前記投影光学系の光学特性を計測する計測する際に、照明条件としての $\sigma$ 値を $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$ の範囲に設定する照明条件設定手段を有することを特徴とする露光装置。

【請求項38】 前記マスクのパターンを前記感光性基板に露光する際に、前記マスクと前記感光性基板とを走査方向に沿って移動させる走査手段をさらに備え、前記照明光学系により前記マスクに形成される前記照明領域の短手方向の長さを $L_s$ とし、前記照明光学系により前記マスクに形成される前記照明領域の長手方向の長さを $L_l$ とすると、 $0.05 < L_s/L_l < 0.7$ の関係を満たすことを特徴とする請求項37に記載の露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は照明光学装置および該照明光学装置を備えた露光装置に関し、特に半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスをリソグラフィー工程で製造するための露光装置に好適な照明光学装置に関する。

【0002】

【従来の技術】この種の典型的な露光装置においては、光源から射出された光束が、オプティカルインテグレータとしてのフライアイレンスを介して、多数の光源からなる実質的な面光源としての二次光源を形成する。二次光源からの光束は、フライアイレンスの後側焦点面の近傍に配置された開口絞りを介して制限された後、コンデンサーレンズに入射する。

【0003】コンデンサーレンズにより集光された光束は、所定のパターンが形成されたマスクを重畳的に照明する。マスクのパターンを透過した光は、投影光学系を

介してウェハ上に結像する。こうして、ウェハ上には、マスクパターンが投影露光（転写）される。なお、マスクに形成されたパターンは高集積化されており、この微細パターンをウェハ上に正確に転写するにはウェハ上において均一な照度分布を得ることが不可欠である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】そこで、フライアイレンスの後側焦点面に円形状の二次光源を形成し、その大きさを変化させて照明のコヒーレンシ $\sigma$ （ $\sigma$ 値＝開口絞り径／投影光学系の瞳径、あるいは $\sigma$ 値＝照明光学系の射出側開口数／投影光学系の入射側開口数）を変化させる技術が注目されている。また、フライアイレンスの後側焦点面に輪帯状や4極状の二次光源を形成し、投影光学系の焦点深度や解像力を向上させる技術が注目されている。

【0005】しかしながら、上述のような従来技術では、円形状の二次光源に基づく通常の円形照明の場合も、輪帯状や4極状の二次光源に基づく変形照明（輪帯照明や4極照明）の場合も、被照射面であるマスク上の一点に入射する光束の断面形状がマスク上の直交する二方向に関して同じ位置関係にある。換言すると、従来技術では、被照射面上の直交する二方向で照明条件が同じである。その結果、マスクパターンに方向性がある場合、マスク上の直交する二方向で最適な照明条件を実現することができない。ところで、また、近年においては、適切な照明条件のもとでマスクのパターンを正確に転写することと、同時に、マスクのパターンを正確に転写するのに際して、投影光学系の光学性能を高精度で確認し得ることが切望されている。

【0006】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、被照射面上の直交する二方向で互いに異なる照明条件を実現することのできる、照明光学装置および該照明光学装置を備えた露光装置を提供することを目的とする。また、本発明は、パターンに方向性があるマスク上の直交する二方向で最適な照明条件を設定することのできる露光装置を用いて、良好な照明条件のもとで良好なマイクロデバイスを製造することのできるマイクロデバイスの製造方法を提供することを目的とする。さらに、また、本発明は、適切な照明条件のもとでマスクのパターンを正確に転写することができ、同時に、マスクのパターンを正確に転写するのに際して、投影光学系の光学性能を高精度で確認し得る露光装置や露光方法等を提供することも目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、光源手段からの光束に基づいて第1多数光源を形成するための第1オプティカルインテグレータと、前記第1多数光源からの光束に基づいてより多数の第2多数光源を形成するための第2オプティカルインテグレータとを備え、前記第2多数光源から

の光束で被照射面を照明する照明光学装置において、前記第1 オプティカルインテグレートと前記第2 オプティカルインテグレートとの間の光路中に配置されて、前記第2 多数光源の全体の大きさを相似的に変更するための変倍光学系と、前記第1 オプティカルインテグレートへの入射光束の所定方向に沿った入射角度を変化させるために前記入射光束の縦横比を変更する縦横比変更素子とを備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0008】本発明の第2 発明では、光源手段からの光束に基づいて多数光源を形成するためのオプティカルインテグレートと、該オプティカルインテグレートからの光束を被照射面へ導くための導光光学系とを備えた照明光学装置において、前記光源手段からの光束を所定の断面形状を有する光束または所定の光強度分布を有する光束に変換するための光束変換素子と、前記光束変換素子と前記オプティカルインテグレートとの間の光路中に配置されて、前記オプティカルインテグレートへの入射光束の所定方向に沿った入射角度を変化させるために前記入射光束の縦横比を変更する縦横比変更素子とを備えていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0009】第1 発明または第2 発明の好ましい態様によれば、前記縦横比変更素子は、光軸を中心として回転可能に構成されている。あるいは、前記縦横比変更素子は、前記オプティカルインテグレートまたは前記第1 オプティカルインテグレートへの入射光束の第1 方向に沿った入射角度を変化させるための第1 縦横比変更素子と、前記オプティカルインテグレートまたは前記第1 オプティカルインテグレートへの入射光束の前記第1 方向と直交する第2 方向に沿った入射角度を変化させるための第2 縦横比変更素子とを有することが好ましい。

【0010】また、第1 発明の好ましい態様によれば、前記縦横比変更素子は、前記所定方向に沿って凹状断面の屈折面を有する第1 プリズムと、該第1 プリズムの前記凹状断面の屈折面と相補的に形成された凸状断面の屈折面を有する第2 プリズムとを有し、前記第1 プリズムおよび前記第2 プリズムのうち少なくともいずれか一方が光軸に沿って移動可能に構成されている。この場合、前記第1 プリズムの前記凹状断面は、V 字状の形状を有することが好ましい。

【0011】本発明の第3 発明では、第1 発明または第2 発明の照明光学装置と、前記被照射面に配置されたマスクのパターンを感光性基板上に投影露光するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。

【0012】本発明の第4 発明では、第3 発明の露光装置により前記マスクのパターンを前記感光性基板上に露光する露光工程と、前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法を提供する。

【0013】本発明の第5 発明では、被照射物体を照明する照明光学系を備えた照明光学装置において、前記照明光学系は、該照明光学系の瞳での照明光の大きさおよび形状のうちの少なくとも一方を可変とする可変手段を備え、前記可変手段は、前記照明光学系の光軸と直交する第1 方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1 変位手段と、前記光軸と直交し且つ前記第1 方向と交差する第2 方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2 変位手段と、前記照明光の大きさを可変とする変倍光学系とを有することを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0014】第5 発明の好ましい態様によれば、前記照明光学系は、前記照明光の形状を所望の光束形状に変換し、該所望の光束形状に変換された照明光を前記可変手段へ導く光形状変換手段を備えている。この場合、前記光形状変換手段は、前記照明光の形状を第1 の光束形状に変換する第1 回折光学部材と、該第1 回折光学部材と交換可能に設けられて前記照明光の形状を第2 の光束形状に変換する第2 回折光学部材とを有することが好ましい。また、前記照明光学系は、前記可変手段と前記被照射物体との間の光路中に配置されて前記被照射物体を均一に照明するオプティカルインテグレートを備えていることが好ましい。

【0015】本発明の第6 発明では、マスクのパターンを感光性基板上に露光する露光方法において、照明光学系を介して前記マスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターン像を前記感光性基板上に投影する投影工程とを含み、前記照明工程は、前記照明光学系の瞳での照明光を輪帯状に変換する作用を付与する輪帯作用付与工程と、前記照明光学系の光軸と直交する第1 方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1 変位工程と、前記光軸と直交し且つ前記第1 方向と交差する第2 方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2 変位工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。この場合、前記照明工程は、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程をさらに含むことが好ましい。

【0016】本発明の第7 発明では、マスクのパターンを感光性基板上に露光する露光方法において、照明光学系を介して前記マスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターン像を前記感光性基板上に投影する投影工程とを含み、前記照明工程は、前記照明光学系の瞳において前記照明光学系の光軸と直交する第1 方向に沿って前記光軸を挟んで対称に照明光を変位させる第1 変位工程と、前記光軸と直交し且つ前記第1 方向と交差する第2 方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2 変位工程と、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。

【0017】本発明の第8 発明では、マスクのパターンを感光性基板上に露光する露光方法において、照明光学系

を介して前記マスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する投影工程とを含み、前記照明工程は、前記マスクに対する照明条件を変更する変更工程を含み、前記変更工程は、前記照明光学系の第1照明条件を設定する第1設定工程と、前記照明光学系の第2照明条件を設定する第2設定工程との少なくとも一方を選択する選択工程を含み、前記第1設定工程は、前記照明光学系の瞳での照明光を輪帯状に変換する作用を付与する輪帯作用付与工程と、前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位工程と、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位工程とを含み、前記第2設定工程は、前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位工程と、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位工程と、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。

【0018】本発明の第9発明では、被照明物体を照明する照明光学系を備えた照明光学装置において、前記照明光学系は、該照明光学系の瞳での照明光の大きさおよび形状のうちの少なくとも一方を可変とする可変手段を備え、前記可変手段は、前記照明光を所望の輪帯比を持つ輪帯状に変換する作用を付与する輪帯比可変手段と、前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位手段とを有することを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0019】第9発明の好ましい態様によれば、前記可変手段は、前記照明光の大きさを可変とする変倍光学系を有する。また、前記可変手段は、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位手段を有することが好ましい。さらに、前記照明光学系は、前記照明光の形状を所望の光束形状に変換し、該所望の光束形状に変換された照明光を前記可変手段へ導く光形状変換手段を備えていることが好ましい。この場合、前記光形状変換手段は、前記照明光の形状を第1の光束形状に変換する第1回折光学部材と、該第1回折光学部材と交換可能に設けられて前記照明光の形状を第2の光束形状に変換する第2回折光学部材とを有することが好ましい。また、前記照明光学系は、前記可変手段と前記被照明物体との間の光路中に配置されて前記被照明物体を均一に照明するオプティカルインテグレータを備えていることが好ましい。

【0020】本発明の第10発明では、マスクのパターンを感光性基板に露光する露光方法において、照明光学系を介して前記マスクを照明する照明工程と、前記マス

クのパターン像を前記感光性基板に投影する投影工程とを含み、前記照明工程は、前記照明光学系の瞳での照明光の大きさおよび形状のうちの少なくとも一方を可変とする可変工程を含み、前記可変工程は、前記照明光を所望の輪帯比を持つ輪帯状に変換する作用を付与する輪帯比可変工程と、前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。

【0021】第10発明の好ましい態様によれば、前記可変工程は、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程をさらに含む。また、前記可変工程は、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位工程をさらに含むことが好ましい。さらに、前記照明工程は、前記可変工程の前に、前記照明光の形状を所望の光束形状に変換する光形状変換工程をさらに含むことが好ましい。この場合、前記光形状変換工程は、第1回折光学部材を用いて前記照明光の形状を第1の光束形状に変換する第1回折工程と、前記第1回折光学部材と交換可能に設けられた第2回折光学部材を用いて前記照明光の形状を第2の光束形状に変換する第2回折工程とを含むことが好ましい。また、前記照明工程は、前記可変工程の後に、オプティカルインテグレータを用いて前記被照明物体を均一に照明する均一照明工程を含むことが好ましい。

【0022】本発明の第11発明では、マスクのパターンを感光性基板に露光する露光方法において、照明光学系を介して前記マスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する投影工程とを含み、前記照明工程は、前記マスクに対する照明条件を変更する変更工程を含み、前記変更工程は、前記照明光学系の第1照明条件を設定する第1設定工程と、前記照明光学系の第2照明条件を設定する第2設定工程との少なくとも一方を選択する選択工程を含み、前記第1設定工程は、前記照明光学系の瞳での照明光を所望の輪帯比を持つ輪帯状に変換する作用を付与する輪帯比可変工程と、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程とを含み、前記第2設定工程は、前記照明光学系の光軸と直交する所定方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる変位工程と、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。

【0023】本発明の第12発明では、マスクのパターンを感光性基板に露光する露光方法において、照明光学系を介して前記マスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する投影工程とを含み、前記照明工程は、前記照明光学系の瞳での照明光を所望の輪帯比を持つ輪帯状に変換する作用を付与する輪帯比可変工程と、前記照明光学系の光軸と直交する

第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位工程と、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。

【0024】本発明の第13発明では、マスクのパターンを感光性基板に露光する露光方法において、照明光学系を介して前記マスクを照明する照明工程と、前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する投影工程とを含み、前記照明工程は、前記マスクに対する照明条件を変更する変更工程を含み、前記変更工程は、前記照明光学系の第1照明条件を設定する第1設定工程、前記照明光学系の第2照明条件を設定する第2設定工程、および前記照明光学系の第3照明条件を設定する第3設定工程のうちの少なくとも1つを選択する選択工程を含み、前記第1設定工程は、前記照明光学系の瞳での照明光を所望の輪帯比を持つ輪帯状に変換する作用を付与する輪帯比可変工程と、前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位工程と、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位工程とを含み、前記第2設定工程は、前記照明光を所望の輪帯比を持つ輪帯状に変換する作用を付与する輪帯比可変工程と、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程とを含み、前記第3設定工程は、前記照明光学系の光軸と直交する第1方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第1変位工程と、前記光軸と直交し且つ前記第1方向と交差する第2方向に沿って前記光軸を挟んで対称に前記照明光を変位させる第2変位工程と、前記照明光の大きさを可変とする変倍工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。

【0025】本発明の第14発明では、前記被照明物体としてのマスクを照明するための第5発明または第9発明に記載の照明光学装置と、前記マスクのパターン像を感光性基板に投影するための投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。本発明の第15発明では、第14発明の露光装置を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板に露光する露光工程と、前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法を提供する。本発明の第16発明では、第6発明～第8発明または第10発明～第13発明の露光方法を用いて前記マスクのパターンを前記感光性基板に露光する露光工程と、前記露光工程により露光された前記感光性基板を現像する現像工程とを含むことを特徴とするマイクロデバイスの製造方法を提供する。

【0026】本発明の第17発明では、マスクのパターンを感光性基板に露光する露光方法において、照明光学系を介して前記マスクを照明する照明工程と、投影光学

系を用いて前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する投影工程と、前記投影光学系の光学特性を計測する計測工程とを含み、前記照明工程は、前記投影工程を実行するのに際して照明条件としての $\sigma$ 値を $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$ の範囲に設定する露光条件設定工程と、前記計測工程を実行するのに際して照明条件としての $\sigma$ 値を $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$ の範囲に設定する計測条件設定工程とを含むことを特徴とする露光方法を提供する。この場合、前記投影工程を実行するのに際して、前記マスクと前記感光性基板とを走査方向に沿って移動させる走査工程をさらに含み、前記照明工程は、長手方向と短手方向とを有する矩形の照明領域を前記マスク上に形成する工程を含み、前記照明領域の短手方向の長さ $L_s$ 、前記照明領域の長手方向の長さを $L_l$ とすると、 $0.05 < L_s / L_l < 0.7$ の関係を満たすことが好ましい。

【0027】本発明の第18発明では、マスクのパターンを感光性基板に露光する露光装置において、前記マスクを照明する照明光学系と、前記マスクのパターン像を前記感光性基板に投影する投影光学系とを備え、前記照明光学系は、前記マスクのパターンを前記感光性基板に露光する際に、照明条件としての $\sigma$ 値を $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$ の範囲に設定すると共に、前記投影光学系の光学特性を計測する計測する際に、照明条件としての $\sigma$ 値を $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$ の範囲に設定する照明条件設定手段を有することを特徴とする露光装置を提供する。この場合、前記マスクのパターンを前記感光性基板に露光する際に、前記マスクと前記感光性基板とを走査方向に沿って移動させる走査手段をさらに備え、前記照明光学系により前記マスクに形成される前記照明領域の短手方向の長さを $L_s$ とし、前記照明光学系により前記マスクに形成される前記照明領域の長手方向の長さを $L_l$ とすると、 $0.05 < L_s / L_l < 0.7$ の関係を満たすことが好ましい。

【0028】

【発明の実施の形態】本発明の典型的な実施形態においては、たとえば回折光学素子のような光束変換素子により、光源手段からの光束を4極状や輪帯状の光束に変換する。この4極状や輪帯状の光束は、所定の光学系により集光され、光軸に対して斜め方向から、マイクロフライアイレンズまたはマイクロレンズアレイ（以下、「マイクロフライアイ」という）のような第1オブティカルインテグレートへ入射する。こうして、マイクロフライアイにより第1多数光源が形成される。第1多数光源からの光束は、所定の光学系を介した後、フライアイレンズのような第2オブティカルインテグレートにより、第2多数光源すなわち4極状や輪帯状の二次光源を形成する。

【0029】本発明では、マイクロフライアイへの入射光束の所定方向に沿った入射角度を変化させるために、

入射光束の縦横比を変更する縦横比変更素子を備えている。縦横比変更素子は、たとえば所定方向に沿ってV字状の凹状断面の屈折面を有する第1プリズムと、この第1プリズムのV字状の凹状断面の屈折面と相補的に形成されたV字状の凸状断面の屈折面を有する第2プリズムとを有する。そして、第1プリズムおよび第2プリズムのうち少なくともいずれか一方が光軸に沿って移動可能に構成されている。

【0030】したがって、第1プリズムの凹状屈折面と第2プリズムのV字状の凸状屈折面との間隔を変化させると、4極状や輪帯状の二次光源の全体の大きさが所定方向に沿って変化する。その結果、本発明の照明光学装置では、被照射面上の直交する二方向で互いに異なる照明条件を実現することができる。したがって、本発明の照明光学装置を組み込んだ露光装置では、パターンに方向性があるマスク上の直交する二方向で最適な照明条件を設定することができ、良好な照明条件のもとで良好なマイクロデバイスを製造することができる。

【0031】本発明の実施形態を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の第1実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。図1において、感光性基板であるウェハの法線方向に沿ってZ軸を、ウェハ面内において図1の紙面に平行な方向にY軸を、ウェハ面内において図1の紙面に垂直な方向にX軸をそれぞれ設定している。なお、図1では、照明光学装置が4極照明を行うように設定されている。

【0032】図1の露光装置は、露光光（照明光）を供給するための光源1として、たとえば248nm（KrF）または193nm（ArF）の波長の光を供給するエキシマレーザー光源を備えている。光源1からZ方向に沿って射出されたほぼ平行光束は、X方向に沿って細長く延びた矩形形状の断面を有し、一對のレンズ2aおよび2bからなるビームエキスパンダー2に入射する。各レンズ2aおよび2bは、図1の紙面内（YZ平面内）において負の屈折力および正の屈折力をそれぞれ有する。したがって、ビームエキスパンダー2に入射した光束は、図1の紙面内において拡大され、所定の矩形形状の断面を有する光束に整形される。

【0033】整形光学系としてのビームエキスパンダー2を介したほぼ平行な光束は、折り曲げミラー3でY方向に偏向された後、4極照明用の回折光学素子（DOE）4に入射する。一般に、回折光学素子は、ガラス基板に露光光（照明光）の波長程度のピッチを有する段差を形成することによって構成され、入射ビームを所望の角度に回折する作用を有する。4極照明用の回折光学素子4に入射した光束は、光軸AXを中心として等角度で特定の4つの方向に沿って回折され、4つの光束すなわち4極状の光束となる。このように、回折光学素子4は、光源1からの光束を4極状の光束に変換するための

光束変換素子を構成している。

【0034】なお、回折光学素子4は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、輪帯照明用の回折光学素子4aや通常円形照明用の回折光学素子4bと切り換え可能に構成されている。輪帯照明用の回折光学素子4aおよび通常円形照明用の回折光学素子4bの構成および作用については後述する。ここで、4極照明用の回折光学素子4と輪帯照明用の回折光学素子4aと通常円形照明用の回折光学素子4bとの間の切り換えは、制御系21からの指令に基づいて動作する第1駆動系22により行われる。

【0035】回折光学素子4を介して形成された4極状の光束は、アフォーカルズームレンズ（変倍リレー光学系）5に入射し、瞳面に4つの点像（点状の光源）を形成する。この4つの点像からの光は、ほぼ平行光束となってアフォーカルズームレンズ5から射出され、マイクロフライアイ6に入射する。なお、アフォーカルズームレンズ5は、回折光学素子4とマイクロフライアイ6の入射面とを光学的にほぼ共役な関係に維持し、且つアフォーカル系（無焦点光学系）を維持しながら、所定の範囲で倍率を連続的に変化させることができるように構成されている。ここで、アフォーカルズームレンズ5の倍率変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する第2駆動系23により行われる。

【0036】こうして、マイクロフライアイ6の入射面には、光軸AXに対してほぼ対称に斜め方向から光束が入射する。マイクロフライアイ6は、稠密に且つ縦横に配列された多数の正六角形状の正屈折力を有する微小レンズからなる光学素子である。一般に、マイクロフライアイは、たとえば平行平面ガラス板にエッチング処理を施して微小レンズ群を形成することによって構成される。

【0037】ここで、マイクロフライアイを構成する各微小レンズは、フライアイレンズを構成する各レンズエレメントよりも微小である。また、マイクロフライアイは、互いに隔絶されたレンズエレメントからなるフライアイレンズとは異なり、多数の微小レンズが互いに隔絶されることなく一体的に形成されている。しかしながら、正屈折力を有するレンズ要素が縦横に配置されている点でマイクロフライアイはフライアイレンズと同じである。なお、図1では、図面の明瞭化のために、マイクロフライアイ6を構成する微小レンズの数を実際よりも非常に少なく表している。

【0038】したがって、マイクロフライアイ6に入射した光束は多数の微小レンズにより二次元的に分割され、各微小レンズの後側焦点面にはそれぞれ1つの4点状の光源が形成される。このように、マイクロフライアイ6は、光源1からの光束に基づいて多数の光源からなる第1多数光源を形成するための第1オプティカルインテグレータを構成している。

【0039】マイクロフライアイ6の後側焦点面に形成された多数の光源からの光束は、ズームレンズ（変倍光学系）7を介して、第2オプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズ8を重畳的に照明する。なお、ズームレンズ7は、所定の範囲で焦点距離を連続的に変化させることのできる $\sigma$ 値可変用の変倍光学系であって、マイクロフライアイ6の後側焦点面とフライアイレンズ8の後側焦点面とを光学的にほぼ共役に結んでいる。換言すると、ズームレンズ7は、マイクロフライアイ6の後側焦点面とフライアイレンズ8の入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に結んでいる。

【0040】したがって、マイクロフライアイ6の後側焦点面に形成された多数の4点状の光源からの光束は、ズームレンズ7の後側焦点面に、ひいてはフライアイレンズ8の入射面に、光軸AXに対して対称的に偏心した4つの照野からなる4極状の照野を形成する。この4極状の照野の大きさは、ズームレンズ7の焦点距離に依存して変化する。なお、ズームレンズ7の焦点距離の変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する第3駆動系24により行われる。

【0041】フライアイレンズ8は、正の屈折力を有する多数のレンズエレメントを稠密に且つ縦横に配列することによって構成されている。なお、フライアイレンズ8を構成する各レンズエレメントは、マスク上において形成すべき照野の形状（ひいてはウェハ上において形成すべき露光領域の形状）と相似な矩形状の断面を有する。また、フライアイレンズ8を構成する各レンズエレメントの入射側の面は入射側に凸面を向けた球面状に形成され、射出側の面は射出側に凸面を向けた球面状に形成されている。したがって、フライアイレンズ8に入射した光束は多数のレンズエレメントにより二次元的に分割され、光束が入射した各レンズエレメントの後側焦点面には多数の光源がそれぞれ形成される。

【0042】こうして、図2に示すように、フライアイレンズ8の後側焦点面には、フライアイレンズ8への入射光束によって形成される照野とはほぼ同じ光強度分布を有する二次光源、すなわち光軸AXに対して対称的に偏心した4つの実質的な面光源31～34からなる4極状の二次光源が形成される。このように、フライアイレンズ8は、第1オプティカルインテグレータであるマイクロフライアイ6の後側焦点面に形成された第1多数光源からの光束に基づいてより多数の光源からなる第2多数光源を形成するための第2オプティカルインテグレータを構成している。

【0043】フライアイレンズ8の後側焦点面に形成された4極状の二次光源からの光束は、必要に応じて4極状の光透過部を有する開口絞りを介して制限された後、コンデンサー光学系9の集光作用を受けた後、所定のパターンが形成されたマスクMを重畳的に照明する。マスクMのパターンを透過した光束は、投影光学系PLを介

して、感光性基板であるウェハW上にマスクパターンの像を形成する。こうして、投影光学系PLの光軸AXと直交する平面（XY平面）内においてウェハWを二次元的に駆動制御しながら一括露光またはスキャン露光を行うことにより、ウェハWの各露光領域にはマスクMのパターンが逐次露光される。

【0044】なお、一括露光では、いわゆるステップ・アンド・リピート方式にしたがって、ウェハの各露光領域に対してマスクパターンを一括的に露光する。この場合、マスクM上での照明領域の形状は正方形に近い矩形状であり、フライアイレンズ8の各レンズエレメントの断面形状も正方形に近い矩形状となる。一方、スキャン露光では、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式にしたがって、マスクおよびウェハを投影光学系に対して相対移動させながらウェハの各露光領域に対してマスクパターンをスキャン露光する。この場合、マスクM上での照明領域の形状は短辺と長辺との比がたとえば1:3の矩形状であり、フライアイレンズ8の各レンズエレメントの断面形状もこれと相似な矩形状となる。

【0045】図2を再び参照すると、フライアイレンズ8の後側焦点面に形成される4極状の二次光源は、4つの正六角形状の面光源31～34から構成されている。ここで、各面光源の中心31a～34aは光軸AXから同じ距離だけ離れており、4つの中心31a～34aを結んで形成される四角形は、光軸AXを中心としてX方向およびZ方向に平行な辺を有する正方形である。すなわち、フライアイレンズ8により形成される4極状の二次光源は、X方向およびZ方向に関して同じ位置関係にある。

【0046】したがって、被照射面であるマスクM上の任意の一点に入射する光束の断面形状も、X方向およびZ方向に関して同じ位置関係を有する4極状になる。換言すると、マスクM上の直交する二方向（X方向およびY方向）で照明条件が同じになる。そこで、第1実施形態では、マスクM上の直交する二方向で互いに異なる照明条件を実現するために、アフォーカルズームレンズ5の光路中に、一対のプリズム10aおよび10bからなるV溝アキシコン10を配置している。

【0047】図3は、アフォーカルズームレンズの光路中に配置されたV溝アキシコン系（以下、単に「V溝アキシコン」という）を構成する一対のプリズムの構成を概略的に示す図である。図1および図3に示すように、V溝アキシコン10は、光源側から順に、光源側に平面を向け且つ被照射面側に凹状の屈折面を向けた第1プリズム10aと、被照射面側に平面を向け且つ光源側に凸状の屈折面を向けた第2プリズム10bとから構成されている。第1プリズム10aの凹状屈折面10cは、X方向に平行な2つの平面から構成され、Z方向に沿ってV字状の凸状断面を有する。

【0048】第2プリズム10bの凸状屈折面10d

は、第1プリズム10aの凹状屈折面10cと互いに当接可能なように、換言すると第1プリズム10aの凹状屈折面10cと相補的に形成されている。すなわち、第2プリズム10bの凹状屈折面10dは、X方向に平行な2つの平面から構成され、Z方向に沿ってV字状の凹状断面を有する。また、第1プリズム10aおよび第2プリズム10bのうち少なくとも一方が光軸AXに沿って移動可能に構成され、凹状屈折面10cと凸状屈折面10dとの間隔が可変に構成されている。

【0049】なお、V溝アキシコン10の間隔の変化、すなわち凹状屈折面10cと凸状屈折面10dとの間隔の変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する第4駆動系25により行われる。また、制御系21には、ステップ・アンド・リピート方式またはステップ・アンド・スキャン方式にしたがって順次露光すべき各種のマスクに関する情報などがキーボードなどの入力手段20を介して入力される。

【0050】ここで、第1プリズム10aの凹状屈折面10cと第2プリズム10bの凸状屈折面10dとが互いに当接している状態では、V溝アキシコン10は平行平板として機能し、形成される4極状の二次光源に及ぼす影響はない。しかしながら、第1プリズム10aの凹状屈折面10cと第2プリズム10bの凸状屈折面10dとを離間させると、V溝アキシコン10はX方向に沿って平行平板として機能するが、Z方向に沿ってビームエキスパンダーとして機能する。

【0051】したがって、凹状屈折面10cと凸状屈折面10dとの間隔の変化に伴って、マイクロフライアイ6への入射光束のX方向に沿った入射角度は変化しないが、マイクロフライアイ6への入射光束のY方向に沿った入射角度は変化する。その結果、図2における各面光源31〜34の中心31a〜34aは、X方向には移動しないがZ方向に移動する。このように、V溝アキシコン10は、マイクロフライアイ6への入射光束のY方向に沿った入射角度を変化させるために入射光束の縦横比を変更する縦横比変更素子を構成している。

【0052】図4は、V溝アキシコンの間隔の変化、アフォーカルズームレンズの倍率の変化、およびズームレンズの焦点距離の変化が4極状の二次光源に及ぼす影響を模式的に説明する図である。図4(a)に示すように、V溝アキシコン10の間隔が零のとき、すなわち凹状屈折面10cと凸状屈折面10dとが互いに当接しているとき、4極状の二次光源を構成する各面光源はX方向およびZ方向に関して同じ位置関係に形成される。そして、V溝アキシコン10の間隔を零から所定の大きさに変化させると、図4(b)に示すように、各面光源はその形状および大きさを変えることなくZ方向に移動し、各面光源の中心のX方向に沿った間隔は変化しないがZ方向に沿った間隔は拡大する。

【0053】また、V溝アキシコン10の間隔が零の状

態において、アフォーカルズームレンズ5の倍率の変化させると、図4(c)に示すように、各面光源はその形状および大きさを変えることなくX方向およびZ方向に同じ距離だけ移動し、各面光源の間隔は拡大または縮小する。さらに、V溝アキシコン10の間隔が零の状態において、ズームレンズ7の焦点距離の変化させると、図4(d)に示すように、4極状の二次光源の全体が相似的に拡大または縮小する。すなわち、各面光源はその形状を変えることなくその大きさが拡大または縮小するとともに、各面光源がX方向およびZ方向に同じ距離だけ移動する。なお、レーザー照射によるプリズム部材10aおよび10bの劣化を回避するために、アフォーカルズームレンズ5の光路中において4つの点像が形成される集光点から間隔を隔ててプリズム部材10aおよび10bを配置することが好ましい。

【0054】ところで、前述したように、回折光学素子4は、照明光路に対して挿脱自在に構成され、且つ輪帯照明用の回折光学素子4aや通常円形照明用の回折光学素子4bと切り換え可能に構成されている。以下、回折光学素子4に代えて回折光学素子4aを照明光路中に設定することによって得られる輪帯照明について簡単に説明する。

【0055】4極照明用の回折光学素子4に代えて輪帯照明用の回折光学素子4aを照明光路中に設定すると、回折光学素子4aを介して輪帯状の光束が形成される。回折光学素子4aを介して形成された輪帯状の光束は、アフォーカルズームレンズ5に入射し、瞳面にリング状の像(リング状の光源)を形成する。このリング状の像からの光は、ほぼ平行光束となってアフォーカルズームレンズ5から射出され、マイクロフライアイ6の後側焦点面に第1多数光源を形成する。

【0056】マイクロフライアイ6により形成された第1多数光源からの光束は、ズームレンズ7を介してフライアイレンズ8の入射面に、光軸AXを中心とした輪帯状の照野を形成する。その結果、フライアイレンズ8の後側焦点面には、入射面に形成された照野とほぼ同じ光強度を有する二次光源、すなわち光軸AXを中心とした輪帯状の二次光源が形成される。

【0057】図5は、V溝アキシコンの間隔の変化、アフォーカルズームレンズの倍率の変化、およびズームレンズの焦点距離の変化が輪帯状の二次光源に及ぼす影響を模式的に説明する図である。図5(a)に示すように、V溝アキシコン10の間隔が零のとき、すなわち凹状屈折面10cと凸状屈折面10dとが互いに当接しているとき、輪帯状の二次光源を構成する各面光源はX方向およびZ方向に関して同じ位置関係に形成される。そして、V溝アキシコン10の間隔を零から所定の大きさに変化させると、図5(b)に示すように、輪帯状の二次光源はその幅を変えることなく、輪帯状の二次光源の全体の大きさがZ方向に拡大し、Z方向に延びた楕円環

状の二次光源となる。

【0058】また、V溝アキシコン10の間隔が零の状態において、アフォーカルズームレンズ5の倍率の変化させると、図5(c)に示すように、輪帯状の二次光源はその幅を変えることなく、その外径(大きさ)が拡大または縮小する。さらに、V溝アキシコン10の間隔が零の状態において、ズームレンズ7の焦点距離の変化させると、図5(d)に示すように、輪帯状の二次光源の全体が相似的に拡大または縮小する。すなわち、輪帯状の二次光源の幅および外径がともに拡大または縮小する。

【0059】次いで、回折光学素子4または4aに代えて円形照明用の回折光学素子4bを照明光路中に設定することによって得られる通常円形照明について説明する。円形照明用の回折光学素子4bは、入射した矩形形状の光束を円形状の光束に変換する機能を有する。したがって、回折光学素子4bにより形成された円形状の光束は、アフォーカルズームレンズ5によりその倍率に応じて拡大または縮小され、マイクロフライアイ6に入射する。

【0060】こうして、マイクロフライアイ6の後側焦点面には、第1多数光源が形成される。マイクロフライアイ6の後側焦点面に形成された第1多数光源からの光束は、ズームレンズ7を介して、フライアイレンズ8の入射面において光軸AXを中心とした円形状の照野を形成する。その結果、フライアイレンズ8の後側焦点面にも、光軸AXを中心とした円形状の二次光源が形成される。

【0061】この場合、V溝アキシコン10の間隔を零から所定の大きさに変化させると、円形状の二次光源はZ方向に拡大し、Z方向に延びた楕円状の二次光源となる。また、V溝アキシコン10の間隔が零の状態において、アフォーカルズームレンズ5の倍率の変化させると、あるいはズームレンズ7の焦点距離の変化させると、円形状の二次光源の全体が相似的に拡大または縮小する。すなわち、円形状の二次光源の外径(大きさ)が拡大または縮小する。

【0062】以上のように、第1実施形態では、V溝アキシコン10の間隔を変化させることにより、二次光源の全体の大きさがX方向には変化することなくZ方向に変化する。その結果、マスクM上の直交する二方向(X方向およびY方向)で互いに異なる照明条件を実現することができ、ひいてはパターンに方向性があるマスクM上の直交する二方向で最適な照明条件を設定することができる。

【0063】なお、上述の説明では、図6(a)に示すように、V字状の凹状断面を有する第1プリズムとV字状の凸状断面を有する第2プリズムとでV溝アキシコン10を構成している。しかしながら、これに限定されることなく、図6(b)に示すように、V字状の凹状断面

および凸状断面の頂点近傍を光軸AXに垂直な平面状に形成することもできる。また、輪帯照明または円形照明において外形が比較的円滑な楕円環状の二次光源または楕円状の二次光源を得るには、図6(c)に示すように、V字状の凹状断面および凸状断面の頂点近傍を円筒形状に形成することが好ましい。

【0064】また、上述の説明では、V溝アキシコン10の間隔を変化させることにより、二次光源の全体の大きさをX方向には変化させることなくZ方向に変化させている。しかしながら、図7(a)に示すように、V溝アキシコン10を光軸AXを中心として回転可能に構成することにより、二次光源の全体の大きさを所望の方向(たとえばX方向など)に変化させることもできる。

【0065】また、図7(b)に示すように、作用方向が互いに直交する2組のV溝アキシコンを配置することにより、二次光源の全体の大きさをX方向およびZ方向にそれぞれ独立に変化させることもできる。この場合、2組のV溝アキシコンを一体的にあるいは独立に光軸AXを中心として回転可能に構成することにより、二次光源の全体の大きさを任意の直交する二方向または任意の二方向にそれぞれ独立に変化させることもできる。

【0066】なお、上述の第1実施形態においては、光束変換素子としての回折光学素子4、4aおよび4bを、たとえばターレット方式で、あるいは公知のスライド機構を利用して、照明光路中に位置決めするように構成することができる。

【0067】また、上述の第1実施形態では、マイクロフライアイ6を構成する微小レンズの形状を正六角形に設定している。これは、円形状の微小レンズでは、稠密に配列を行うことができず光量損失が発生するため、円形に近い多角形として正六角形を選定しているからである。しかしながら、マイクロフライアイ6を構成する各微小レンズの形状はこれに限定されることなく、たとえば矩形を含む他の適当な形状を用いることができる。

【0068】さらに、上述の第1実施形態では、通常の円形照明を行う際に回折光学素子4bを照明光路中に位置決めしているが、この回折光学素子4bの使用を省略することもできる。また、上述の第1実施形態では、光束変換素子として回折光学素子を用いているが、これに限定されることなく、たとえばマイクロフライアイや微小プリズムアレイなどを用いることもできる。ところで、本発明で利用することのできる回折光学素子に関する詳細な説明は、米国特許第5,850,300号公報などに開示されている。

【0069】また、上述の第1実施形態においては、二次光源からの光をコンデンサー光学系9によって集光して重畳的にマスクMを照明する構成としているが、コンデンサー光学系9とマスクMとの間に、照明視野絞り(マスクブラインド)と、この照明視野絞りの像をマスクM上に形成するリレー光学系とを配置しても良い。こ

の場合、コンデンサー光学系9は、二次光源からの光を集光して重畳的に照明視野絞りを照明することになり、リレー光学系は、照明視野絞りの開口部（光透過部）の像をマスクM上に形成することになる。

【0070】さらに、上述の第1実施形態においては、フライアイレンズ8を、複数の要素レンズを集積して形成しているが、これらをマイクロフライアイとすることも可能である。マイクロフライアイは、前述したように、光透過性基板にエッチングなどの手法により複数の微少レンズ面をマトリックス状に設けたものである。複数の光源像を形成する点に関して、フライアイレンズとマイクロフライアイとの間に機能上の差異は実質的には無いが、1つの要素レンズ（微少レンズ）の開口の大きさを極めて小さくできること、製造コストを大幅に削減できること、光軸方向の厚みを非常に薄くできることなどの点で、マイクロフライアイが有利である。

【0071】図10は、本発明の第2実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。第2実施形態は、第1実施形態と類似の構成を有するが、折り曲げミラー3とズームレンズ7との間の構成、フライアイレンズ8に代えてマイクロフライアイ（マイクロレンズアレイ）8aが用いられていること、およびコンデンサー光学系9とマスクMとの間の構成が第1実施形態と基本的に相違している。以下、第1実施形態との相違点に着目して、第2実施形態を説明する。なお、図10では、照明光学装置が4極照明を行うように設定されている。

【0072】第2実施形態では、光源1から射出されたほぼ平行光束が、ビームエキスパンダー2および折り曲げミラー3を介して、4極照明用の回折光学素子11aに入射する。回折光学素子11aは、矩形状の断面を有する平行光束が入射した場合、そのファースフィールド（フラウンホーファー回折領域）において4極状の光強度分布を形成する機能を有する。4極照明用の回折光学素子11aは、照明光路に対して揮脱自在に構成され、輪帯照明用の回折光学素子11bや円形照明用の回折光学素子11cと切り換え可能に構成されている。

【0073】具体的には、回折光学素子11aは、光軸AXに平行な所定の軸線回りに回転可能なターレット基板（回転板：図10では不図示）上に支持されている。ターレット基板には、特性の異なる複数の4極照明用の回折光学素子11a、特性の異なる複数の輪帯照明用の回折光学素子11b、および特性の異なる複数の円形照明用の回折光学素子11cが円周方向に沿って設けられている。また、ターレット基板は、その中心点を通り光軸AXに平行な軸線回りに回転可能に構成されている。

【0074】したがって、ターレット基板を回転させることにより、多数の回折光学素子11a～11cから選択された所望の回折光学素子を照明光路中に位置決めすることができる。なお、ターレット基板の回転（ひいて

は回折光学素子11aと11bと11cとの間の切り換え）は、制御系21からの指令に基づいて動作する駆動系26により行われる。ただし、ターレット方式に限定されることなく、たとえば周知のスライド方式により回折光学素子11aと11bと11cとの間の切り換えを行うこともできる。

【0075】光形状変換手段としての回折光学素子11aを介した光束は、アフォーカルレンズ（リレー光学系）12に入射する。アフォーカルレンズ12は、その前側焦点位置と回折光学素子11aの位置とがほぼ一致し且つその後側焦点位置と図中破線で示す所定面13の位置とがほぼ一致するように設定されたアフォーカル系（無焦点光学系）である。ここで、所定面13の位置は、第1実施形態においてマイクロフライアイ6が設置されている位置に対応している。

【0076】したがって、回折光学素子11aに入射したほぼ平行光束は、アフォーカルレンズ12の瞳面に4極状の光強度分布を形成した後、ほぼ平行光束となってアフォーカルレンズ12から射出される。なお、アフォーカルレンズ12の前側レンズ群12aと後側レンズ群12bとの間の光路中には、光源側から順に、円錐アキシコン14、第1V溝アキシコン15、および第2V溝アキシコン16が配置されているが、その詳細な構成および作用については後述する。以下、説明を簡単にするために、これらのアキシコン14～16の作用を無視して、第2実施形態の基本的な構成および作用を説明する。

【0077】アフォーカルレンズ12を介した光束は、 $\sigma$ 値可変用のズームレンズ（変倍光学系）7を介して、オプティカルインテグレータとしてのマイクロフライアイ8aに入射する。なお、 $\sigma$ 値とは、投影光学系PLの瞳の大きさ（直径）をR1とし、投影光学系PLの瞳に形成される照明光束または光源像の大きさ（直径）をR2とし、投影光学系PLのマスク（レチクル）M側の開口数をNAoとし、マスク（レチクル）Mを照明する照明光学系の開口数をNAiとすると、 $\sigma = NAi / NAo = R2 / R1$ として定義される。但し、輪帯照明の場合、R2は投影光学系PLの瞳に形成される輪帯状の照明光束または輪帯状の光源像の外径であり、NAiは照明光学系の瞳に形成される輪帯光束の外径によって定められる開口数である。また、4極照明等の多極照明の場合、R2は投影光学系PLの瞳に形成される多極状の照明光束または多極状の光源像に外接する円の大きさまたは直径であり、NAiは照明光学系の瞳に形成される多極状の照明光束に外接する円の大きさまたは直径によって定められる開口数である。また、輪帯照明の場合、輪帯比とは、輪帯状の照明光束の外径をRo、輪帯状の照明光束の内径をRiとすると、 $Ri / Ro$ で定義される。

【0078】なお、所定面13の位置はズームレンズ7

の前側焦点位置の近傍に配置され、マイクロフライアイ8aの入射面はズームレンズ7の後側焦点位置の近傍に配置されている。換言すると、ズームレンズ7は、所定面13とマイクロフライアイ8aの入射面とを実質的にフーリエ変換の関係に配置し、ひいてはアフォーカルレンズ12の瞳面とマイクロフライアイ8aの入射面とを光学的にほぼ共役配置している。したがって、第1実施形態におけるフライアイレンズ8と同様の機能を有するマイクロフライアイ8aの入射面上には、アフォーカルレンズ12の瞳面と同様に、たとえば光軸AXに対して偏心した4つの照野からなる4極状の照野を形成する。ここで、4極状の照野を構成する各照野の形状は回折光学素子11aの特性に依存するが、ここでは4つの円形状の照野からなる4極状の照野が形成されるものとする。この4極状の照野の全体形状は、ズームレンズ7の焦点距離に依存して相似的に変化する。

【0079】マイクロフライアイ8aを構成する各微小レンズは、マスクM上において形成すべき照野の形状（ひいてはウェハW上において形成すべき露光領域の形状）と相似な矩形状の断面を有する。マイクロフライアイ8aに入射した光束は多数の微小レンズにより二次元的に分割され、その後側焦点面（ひいては照明光学系の瞳）にはマイクロフライアイ8aへの入射光束によって形成される照野とほぼ同じ光強度分布を有する二次光源、すなわち光軸AXに対して偏心した4つの円形状の実質的な面光源からなる4極状の二次光源が形成される。

【0080】マイクロフライアイ8aの後側焦点面に形成された4極状の二次光源からの光束は、コンデンサー光学系9の集光作用を受けた後、照明視野絞りとしてのマスクブラインド17を重畳的に照明する。マスクブラインド17の矩形状の開口部（光透過部）を介した光束は、結像光学系18の集光作用を受けた後、マスクMを重畳的に照明する。マスクMのパターンを透過した光束は、投影光学系PLを介して、ウェハW上にマスクパターンの像を形成する。投影光学系PLの入射瞳面には投影光学系PLの開口数を規定するための可変開口絞りが設けられ、この可変開口絞りの駆動は制御系21からの指令に基づいて動作する駆動系27により行われる。

【0081】図11は、第2実施形態においてアフォーカルレンズの前側レンズ群と後側レンズ群との間の光路中に配置された3つのアキシコン系（以下、単に「アキシコン」という）の構成を概略的に示す斜視図である。第2実施形態では、図11に示すように、アフォーカルレンズ12の前側レンズ群12aと後側レンズ群12bとの間の光路中に、光源側から順に、円錐アキシコン14、第1V溝アキシコン15、および第2V溝アキシコン16が配置されている。

【0082】円錐アキシコン14は、光源側から順に、光源側に平面を向け且つマスク側に凹円錐状の屈折面を

向けた第1プリズム部材14aと、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸円錐状の屈折面を向けた第2プリズム部材14bとから構成されている。そして、第1プリズム部材14aの凹円錐状の屈折面と第2プリズム部材14bの凸円錐状の屈折面とは、互いに当接可能なように相補的に形成されている。

【0083】また、第1プリズム部材14aおよび第2プリズム部材14bのうち少なくとも一方の部材が光軸AXに沿って移動可能に構成され、第1プリズム部材14aの凹円錐状の屈折面と第2プリズム部材14bの凸円錐状の屈折面との間隔が可変に構成されている。円錐アキシコン14の間隔の変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する駆動系28aにより行われる。

【0084】ここで、第1プリズム部材14aの凹円錐状屈折面と第2プリズム部材14bの凸円錐状屈折面とが互いに当接している状態では、円錐アキシコン14は平行平板として機能し、形成される4極状の二次光源に及ぼす影響はない。しかしながら、第1プリズム部材14aの凹円錐状屈折面と第2プリズム部材14bの凸円錐状屈折面とを離間させると、円錐アキシコン14は、いわゆるビームエキスパンダーとして機能する。したがって、円錐アキシコン14の間隔の変化に伴って、所定面13への入射光束の角度は変化する。

【0085】また、第1V溝アキシコン15は、光源側に平面を向け且つマスク側に凹状で且つV字状の屈折面を向けた第1プリズム部材15aと、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸状で且つV字状の屈折面を向けた第2プリズム部材15bとから構成されている。第1プリズム部材15aの凹状屈折面は2つの平面から構成され、その交線はZ方向に沿って延びている。第2プリズム部材15bの凸状屈折面は、第1プリズム部材15aの凹状屈折面と互いに当接可能なように、換言すると第1プリズム部材15aの凹状屈折面と相補的に形成されている。

【0086】すなわち、第2プリズム部材15bの凸状屈折面も2つの平面から構成され、その交線はZ方向に沿って延びている。また、第1プリズム部材15aおよび第2プリズム部材15bのうち少なくとも一方が光軸AXに沿って移動可能に構成され、第1プリズム部材15aの凹状屈折面と第2プリズム部材15bの凸状屈折面との間隔が可変に構成されている。第1V溝アキシコン15の間隔の変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する駆動系28bにより行われる。

【0087】さらに、第2V溝アキシコン16は、光源側に平面を向け且つマスク側に凹状でV字状の屈折面を向けた第1プリズム部材16aと、マスク側に平面を向け且つ光源側に凸状で且つV字状の屈折面を向けた第2プリズム部材16bとから構成されている。第1プリズム部材16aの凹状屈折面は2つの平面から構成され、その交線はX方向に沿って延びている。第2プリズム部

材16bの凸状屈折面は、第1プリズム部材16aの凹状屈折面と相補的に形成されている。すなわち、第2プリズム部材16bの凸状屈折面も2つの平面から構成され、その交線はX方向に沿って延びている。

【0088】また、第1プリズム部材16aおよび第2プリズム部材16bのうち少なくとも一方が光軸AXに沿って移動可能に構成され、第1プリズム部材16aの凹状屈折面と第2プリズム部材16bの凸状屈折面との間隔が可変に構成されている。第2V溝アキシコン16の間隔の変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する駆動系28cにより行われる。

【0089】ここで、対向する凹状屈折面と凸状屈折面とが互いに当接している状態では、第1V溝アキシコン15および第2V溝アキシコン16は平行平板として機能し、形成される4極状の二次光源に及ぼす影響はない。しかしながら、第1V溝アキシコン15は、凹状屈折面と凸状屈折面とを離間させると、Z方向に沿って平行平板として機能するが、X方向に沿ってビームエキスパンダーとして機能する。また、第2V溝アキシコン16は、凹状屈折面と凸状屈折面とを離間させると、X方向に沿って平行平板として機能するが、Z方向に沿ってビームエキスパンダーとして機能する。

【0090】図12は、第2実施形態の4極照明において形成される二次光源に対する円錐アキシコンの作用を説明する図である。第2実施形態の4極照明では、円錐アキシコン14の間隔を零から所定の値まで拡大させることにより、4極状の二次光源を構成する円形状の各面光源40a~40dが光軸AXを中心とした円の径方向に沿って外方へ移動するとともに、その形状が円形状から楕円形状に変化する。すなわち、変化前の円形状の各面光源40a~40dの中心点と変化後の楕円形状の各面光源41a~41dの中心点とを結ぶ線分は光軸AXを通り、中心点の移動距離は円錐アキシコン14の間隔に依存する。

【0091】さらに、変化前の円形状の各面光源40a~40dを光軸AXから見込む角度（光軸AXから各面光源40a~40dへの一対の接線がなす角度）と、変化後の楕円形状の各面光源41a~41dを光軸AXから見込む角度とが等しい。そして、変化前の円形状の各面光源40a~40dの直径と、変化後の楕円形状の各面光源41a~41dの光軸AXを中心とした円の径方向に沿った短径とが等しい。なお、変化後の楕円形状の各面光源41a~41dの光軸AXを中心とした円の周方向に沿った長径の大きさは、変化前の円形状の各面光源40a~40dの直径と円錐アキシコン14の間隔とに依存する。

【0092】したがって、円錐アキシコン14の間隔を零から所定の値まで拡大させると、4つの円形状の面光源から構成される4極状の二次光源が、4つの楕円形状の面光源から構成される4極状の二次光源に変化し、変

化前の二次光源の幅を変化させることなく、その外径および輪帯比を変更することができる。ここで、4極状の二次光源の幅は、4つの面光源に外接する円の直径すなわち外径と4つの面光源に内接する円の直径すなわち内径との差の1/2として規定される。また、4極状の二次光源の輪帯比は、外径に対する内径の比（内径/外径）として規定される。

【0093】図13は、第2実施形態の4極照明において形成される二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。第2実施形態の4極照明では、ズームレンズ7の焦点距離が変化すると、4つの円形状の面光源42a~42dから構成される4極状の二次光源の全体形状が相似的に変化する。すなわち、4極状の二次光源を構成する円形状の各面光源42a~42dが、円形状を維持したまま光軸AXを中心とした円の径方向に沿って移動する。

【0094】そして、変化前の各面光源42a~42dの中心点と変化後の各面光源43a~43dの中心点とを結ぶ線分は光軸AXを通り、中心点の移動距離および移動の向きはズームレンズ7の焦点距離の変化に依存する。また、変化前の各面光源42a~42dを光軸AXから見込む角度と、変化後の各面光源43a~43dを光軸AXから見込む角度とが等しい。こうして、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、4極状の二次光源の輪帯比を変化させることなくその外径だけを変更することができる。

【0095】図14は、第2実施形態の4極照明において形成される二次光源に対する第1V溝アキシコンおよび第2V溝アキシコンの作用を説明する図である。第1V溝アキシコン15の間隔の変化に伴って、所定面13への入射光束のZ方向に沿った入射角度は変化しないが、所定面13への入射光束のX方向に沿った入射角度は変化する。その結果、図14(a)に示すように、4つの円形状の面光源44a~44dは、Z方向には移動しないが、その形状および大きさを維持したままX方向に移動する。すなわち、第1V溝アキシコン15の間隔が零から所定の値まで拡大すると、面光源44bおよび44cは-X方向に移動し、面光源44aおよび44dは+X方向に移動する。

【0096】一方、第2V溝アキシコン16の間隔の変化に伴って、所定面13への入射光束のX方向に沿った入射角度は変化しないが、所定面13への入射光束のZ方向に沿った入射角度は変化する。その結果、図14(b)に示すように、4つの円形状の面光源44a~44dは、X方向には移動しないが、その形状および大きさを維持したままZ方向に移動する。すなわち、第2V溝アキシコン16の間隔が零から所定の値まで拡大すると、面光源44aおよび44bは+Z方向に移動し、面光源44cおよび44dは-Z方向に移動する。

【0097】さらに、第1V溝アキシコン15の間隔お

よび第2V溝アキシコン16の間隔がともに変化すると、所定面13への入射光束のX方向に沿った入射角度およびZ方向に沿った入射角度はともに変化する。その結果、図14(c)に示すように、各面光源44a~44dは、その形状および大きさを維持したままZ方向およびX方向に移動する。すなわち、第1V溝アキシコン15の間隔および第2V溝アキシコン16の間隔がともに零から所定の値まで拡大すると、面光源44aは+Z方向および+X方向に移動し、面光源44bは+Z方向および-X方向に移動し、面光源44cは-Z方向および-X方向に移動し、面光源44dは-Z方向および+X方向に移動する。

【0098】以上のように、円錐アキシコン14は、照明光学系の瞳（マイクロフライアイ8aの後側焦点面）での照明光の輪帯比を可変とする輪帯比可変手段を構成している。ズームレンズ7は、照明光学系の瞳での照明光の大きさを可変とする変倍光学系を構成している。第1V溝アキシコン15は、照明光学系の瞳においてX方向に沿って光軸AXを挟んで対称に照明光を変位させる第1変位手段を構成している。第2V溝アキシコン16は、照明光学系の瞳においてZ方向に沿って光軸AXを挟んで対称に照明光を変位させる第2変位手段を構成している。そして、円錐アキシコン14、第1V溝アキシコン15、第2V溝アキシコン16、およびズームレンズ7は、照明光学系の瞳での照明光の大きさおよび形状を可変とする可変手段を構成している。

【0099】図15は、第2実施形態の4極照明において形成される円形状の各面光源に対する円錐アキシコン、ズームレンズ、第1V溝アキシコンおよび第2V溝アキシコンの作用を説明する図である。図15では、円錐アキシコン14、第1V溝アキシコン15および第2V溝アキシコン16の間隔がともに零で且つズームレンズ7の焦点距離が最小値に設定された状態（以下、「標準状態」という）で形成される最も小さい4極状の二次光源を構成する4つの円形状の面光源のうちの1つの面光源45aに着目している。

【0100】この標準状態で、第1V溝アキシコン15の間隔を零から所定の値まで拡大させると、面光源45aはその形状および大きさを維持したままX方向に沿って移動し、参照符合45bで示す位置に達する。次いで、第2V溝アキシコン16の間隔を零から所定の値まで拡大させると、面光源45bはその形状および大きさを維持したままZ方向に沿って移動し、参照符合45cで示す位置に達する。

【0101】また、ズームレンズ7の焦点距離を最小値から所定の値まで拡大させると、円形状の面光源45cはその円形状を維持したまま拡大するとともに光軸AXを中心とした円の径方向に沿って外方へ移動し、参照符合45dで示す位置に達する。さらに、必要に応じて円錐アキシコン14の間隔を零から所定の値まで拡大させ

ると、円形状の面光源45dは円形状から拡大した楕円形状へ変化するとともに光軸AXを中心とした円の径方向に沿って外方へ移動し、参照符合45eで示す位置に達する。

【0102】なお、第2V溝アキシコン16の間隔を零から所定の値まで拡大させた後に第1V溝アキシコン15の間隔を零から所定の値まで拡大させても、面光源45aはその形状および大きさを維持したまま参照符合45cで示す位置に達する。同様に、最終的に得られる面光源の位置、形状および大きさは、円錐アキシコン14、第1V溝アキシコン15および第2V溝アキシコン16の間隔の変化並びにズームレンズ7の焦点距離の変化に依存し、その変化の順序には依存しない。

【0103】こうして、円錐アキシコン14、第1V溝アキシコン15、第2V溝アキシコン16およびズームレンズ7の作用により、4極状の二次光源を構成する各面光源の位置を広範囲に亘って移動させることができ、且つその形状および大きさを所定の範囲に亘って変化させることができる。しかしながら、実際には、円錐アキシコン14や第1V溝アキシコン15や第2V溝アキシコン16による各面光源の移動比率（すなわち移動先の面光源の座標位置に対する移動元の面光源の座標位置）には光学設計上の制約があり、各面光源の移動範囲には制限がある。

【0104】そこで、第2実施形態では、4極照明用の回折光学素子11aとして、特性の異なる3種類の回折光学素子を備えている。図16は、第2実施形態において特性の異なる3種類の4極照明用回折光学素子を介して形成される各面光源およびその移動範囲について説明する図である。図16においても図15と同様に、標準状態で形成される最も小さい4極状の二次光源を構成する4つの円形状の面光源のうちの1つの面光源46に着目している。

【0105】第2実施形態では、第1の4極照明用回折光学素子により、4つの面光源の中心点を結んで形成される四角形がX方向に沿って細長い長方形になるような4極状の二次光源、すなわち図14(a)の右側に示すような4極状の二次光源が形成される。第1の4極照明用回折光学素子を介して形成された4極状の二次光源を構成する4つの円形状の面光源のうちの1つの面光源46aは、第1V溝アキシコン15および第2V溝アキシコン16の作用により、参照符号47aで示す矩形の範囲内で移動する。

【0106】一方、第2の4極照明用回折光学素子により、4つの面光源の中心点を結んで形成される四角形がZ方向に沿って細長い長方形になるような4極状の二次光源、すなわち図14(b)の右側に示すような4極状の二次光源が形成される。第2の4極照明用回折光学素子を介して形成された4極状の二次光源を構成する4つの円形状の面光源のうちの1つの面光源46bは、第1

V溝アキシコン15および第2V溝アキシコン16の作用により、参照符号47bで示す矩形状の範囲内で移動する。

【0107】さらに、第3の4極照明用回折光学素子により、4つの面光源の中心点を結んで形成される四角形が正方形になるような4極状の二次光源、すなわち図14(c)の右側(あるいは図14(a)~(c)の左側)に示すような4極状の二次光源が形成される。第3の4極照明用回折光学素子を介して形成された4極状の二次光源を構成する4つの円形状の面光源のうちの1つの面光源46cは、第1V溝アキシコン15および第2V溝アキシコン16の作用により、参照符号47cで示す矩形状の範囲内で移動する。

【0108】こうして、第2実施形態では、第1V溝アキシコン15や第2V溝アキシコン16による各面光源の移動比率(ひいてはその移動範囲)が光学設計の観点からある程度制限される場合であっても、特性の異なる3種類の4極照明用回折光学素子を併用することにより、光軸AXを中心とする円環状の領域において各面光源の位置を自在に移動させることができる。なお、図16では図示を省略したが、円錐アキシコン14およびズームレンズ7の作用により、光軸AXを中心とする円環状の領域において、各面光源の位置、形状および大きさを所望の状態に適宜変更することもできる。

【0109】また、第2実施形態の第1変形例では、4極照明用の回折光学素子11aとして、特性の異なる4種類の回折光学素子を備えている。図17および図18は、第2実施形態の第1変形例において特性の異なる4種類の4極照明用回折光学素子を介して形成される各面光源並びにその移動および変形について説明する図である。図17および図18においても図15および図16と同様に、標準状態で形成される最も小さい4極状の二次光源を構成する4つの円形状の面光源のうちの1つの面光源48に着目している。

【0110】第2実施形態の第1変形例では、図17および図18に示すように、光軸AXを中心とした円とX軸に平行な線分とZ軸に平行な線分とで規定される四半円領域が光軸AXを通る3つの線分によって4つの扇形領域に分割され、4種類の4極照明用回折光学素子によってそれぞれ形成される円形状の各面光源48a~48dの中心が各扇形領域内に位置するように設定されている。すなわち、第1の回折光学素子により面光源48aが形成され、第2の回折光学素子により面光源48bが形成され、第3の回折光学素子により面光源48cが形成され、第4の回折光学素子により面光源48dが形成されるように設定されている。

【0111】以下、説明の簡単のために、四半円領域が4つの扇形領域に等分割され、各面光源48a~48dが互いに接するように光軸AXを中心とした円の周方向に沿って配置されているものとする。この場合、円錐ア

キシコン14の間隔を零から所定の値まで拡大させると、図17に示すように、各面光源48a~48dはその形状が円形状から拡大した楕円形状へ変化するとともにその中心位置が光軸AXを中心とした円の径方向に沿って外方へ移動し、それぞれ参照符号49a~49dで示す位置に達する。

【0112】また、ズームレンズ7の焦点距離を最小値から所定の値まで拡大させると、図18に示すように、各面光源48a~48dはその円形状を維持したまま拡大するとともに、その中心位置が光軸AXを中心とした円の径方向に沿って外方へ移動し、それぞれ参照符号50a~50dで示す位置に達する。こうして、第2実施形態の第1変形例では、特性の異なる4種類の4極照明用回折光学素子を併用することにより、光軸AXを中心とする円環状の領域において各面光源の位置、形状および大きさを自在に変化させることができる。

【0113】なお、図17および図18では各面光源48a~48dが互いに接するように配置しているが、各面光源48a~48dが互いに間隔を隔てるように配置することもできる。いずれの場合も、円錐アキシコン14、第1V溝アキシコン15、第2V溝アキシコン16およびズームレンズ7の作用により、光軸AXを中心とする円環状の領域において、各面光源の位置、形状および大きさを所望の状態に適宜変更することができる。

【0114】さらに、第2実施形態の第2変形例では、4極照明用の回折光学素子11aとして、特性の異なる2種類の回折光学素子を備えている。図19は、第2実施形態の第2変形例において特性の異なる2種類の4極照明用回折光学素子を介して形成される各面光源並びにその移動および変形について説明する図である。図19においても図15~図18と同様に、標準状態で形成される最も小さい4極状の二次光源を構成する4つの円形状の面光源のうちの1つの面光源51に着目している。

【0115】第2実施形態の第2変形例では、一方の4極照明用回折光学素子により、4つの面光源の中心点を結んで形成される四角形がX方向に沿って細長い長方形になるような4極状の二次光源が形成される。一方の4極照明用回折光学素子を介して形成された4極状の二次光源を構成する4つの円形状の面光源のうちの1つの面光源51a(図16の46aに対応)は、第1V溝アキシコン15および第2V溝アキシコン16の作用により、参照符号52aで示す矩形状の範囲内で移動する。

【0116】また、他方の4極照明用回折光学素子により、4つの面光源の中心点を結んで形成される四角形がZ方向に沿って細長い長方形になるような4極状の二次光源が形成される。他方の4極照明用回折光学素子を介して形成された4極状の二次光源を構成する4つの円形状の面光源のうちの1つの面光源51b(図16の46bに対応)は、第1V溝アキシコン15および第2V溝アキシコン16の作用により、参照符号52bで示す矩

形状の範囲内で移動する。

【0117】さらに、一方の4極照明用回折光学素子と第2V溝アキシコン16との併用により、あるいは他方の4極照明用回折光学素子と第1V溝アキシコン15との併用により、初期的な面光源51aと51bとの中間的な位置に面光源51cが形成される。この場合、面光源51cに対してズームレンズ7の変倍機能を用いることにより、面光源51cはその円形状を維持したまま拡大するとともに、その中心位置が光軸AXを中心とした円の径方向に沿って外方へ移動し、参照符合51dで示す位置に達する。

【0118】あるいは、図示を省略したが、面光源51cに対して円錐アキシコン14を作用させることにより、面光源51cはその円形状が拡大した楕円形状へ変化するとともに、その中心位置が光軸AXを中心とした円の径方向に沿って外方へ移動する。こうして、第2実施形態の第2変形例では、特性の異なる2種類の4極照明用回折光学素子を併用することにより、光軸AXを中心とする円環状の領域において、各面光源の位置を自在に移動させることができる。また、一般的には、円錐アキシコン14、第1V溝アキシコン15、第2V溝アキシコン16およびズームレンズ7の作用により、光軸AXを中心とする円環状の領域において、各面光源の位置、形状および大きさを所望の状態に適宜変更することができる。

【0119】次に、4極照明用の回折光学素子11aに代えて輪帯照明用の回折光学素子11bを照明光路中に設定することによって得られる輪帯照明について簡単に説明する。この場合、回折光学素子11bに入射したほぼ平行光束は、アフォーカルレンズ12の瞳面に輪帯状の光強度分布を形成した後、ほぼ平行光束となってアフォーカルレンズ12から射出される。アフォーカルレンズ12を介した光束は、ズームレンズ7を介して、マイクロフライアイ8aの入射面に、光軸AXを中心とした輪帯状の照野を形成する。その結果、マイクロフライアイ8aの後側焦点面には、その入射光束によって形成される照野とはほぼ同じ光強度分布を有する二次光源、すなわち光軸AXを中心とした輪帯状の二次光源が形成される。

【0120】図20は、第2実施形態の輪帯照明において形成される二次光源に対する円錐アキシコンの作用を説明する図である。第2実施形態の輪帯照明では、標準状態で形成された最も小さい輪帯状の二次光源60aが、円錐アキシコン14の間隔を零から所定の値まで拡大させることにより、その幅（外径と内径との差の1/2：図中矢印で示す）が変化することなく、その外径および内径がともに拡大された輪帯状の二次光源60bに変化する。換言すると、輪帯状の二次光源は、円錐アキシコン14の作用により、その幅が変化することなく、その輪帯比および大きさ（外径）がともに変化する。

【0121】図21は、第2実施形態の輪帯照明において形成される二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。第2実施形態の輪帯照明では、標準状態で形成された輪帯状の二次光源60aが、ズームレンズ7の焦点距離を最小値から所定の値へ拡大させることにより、その全体形状が相似的に拡大された輪帯状の二次光源60cに変化する。換言すると、輪帯状の二次光源は、ズームレンズ7の作用により、その輪帯比が変化することなく、その幅および大きさ（外径）がともに変化する。

【0122】図22は、第2実施形態の輪帯照明において形成される二次光源に対する第1V溝アキシコンおよび第2V溝アキシコンの作用を説明する図である。上述したように、第1V溝アキシコン15の間隔の変化に伴って、所定面13への入射光束のZ方向に沿った入射角度は変化しないが、所定面13への入射光束のX方向に沿った入射角度は変化する。その結果、図22(a)に示すように、輪帯状の二次光源60aを構成する4つの四半円弧状の各面光源61～64は、Z方向には移動しないがX方向に移動する。すなわち、第1V溝アキシコン15の間隔が零から所定の値に拡大すると、面光源61および63は-X方向に移動し、面光源62および64は+X方向に移動する。

【0123】一方、第2V溝アキシコン16の間隔の変化に伴って、所定面13への入射光束のX方向に沿った入射角度は変化しないが、所定面13への入射光束のZ方向に沿った入射角度は変化する。その結果、図22(b)に示すように、各面光源61～64は、X方向には移動しないがZ方向に移動する。すなわち、第2V溝アキシコン16の間隔が零から所定の値に拡大すると、面光源61および62は+Z方向に移動し、面光源63および64は-Z方向に移動する。

【0124】さらに、第1V溝アキシコン15の間隔および第2V溝アキシコン16の間隔がともに変化する、所定面13への入射光束のX方向に沿った入射角度およびZ方向に沿った入射角度はともに変化する。その結果、図22(c)に示すように、各面光源61～64は、Z方向およびX方向に移動する。すなわち、第1V溝アキシコン15の間隔および第2V溝アキシコン16の間隔が零から所定の値に拡大すると、面光源61は+Z方向および-X方向に移動し、面光源62は+Z方向および+X方向に移動し、面光源63は-Z方向および-X方向に移動し、面光源64は-Z方向および+X方向に移動する。こうして、4つの独立した円弧状の面光源からなる4極状の二次光源を形成することができる。

【0125】以上、第2実施形態の輪帯照明における円錐アキシコン14、第1V溝アキシコン15、第2V溝アキシコン16およびズームレンズ7の作用を個別に説明したが、これらの光学部材の相互作用により様々な形態の輪帯照明が可能である。具体的には、図22(c)

に示す状態において、ズームレンズ7を作用させると、たとえば面光源62は、光軸AXを中心とした円の径方向に沿って移動し、その全体形状が相似的に変化した面光源62aに変化する。一方、図22(c)に示す状態において、円錐アキシコン14を作用させると、たとえば面光源64は光軸AXを中心とした円の径方向に沿って移動し、その径方向の寸法は変化することなくその周方向の寸法だけが変化した面光源64aに変化する。

【0126】しかしながら、実際には、光学設計上の制約により、円錐アキシコン14による輪帯比の変更範囲には制限がある。そこで、第2実施形態では、輪帯照明用の回折光学素子11bとして、特性の異なる2種類の回折光学素子を備えている。すなわち、第2実施形態では、一方の輪帯照明用回折光学素子により、たとえば0.5~0.68の範囲で輪帯比を変更するのに適した形状を有する輪帯状の二次光源を形成する。また、他方の輪帯照明用回折光学素子により、たとえば0.68~0.8の範囲で輪帯比を変更するのに適した形状を有する輪帯状の二次光源を形成する。その結果、2種類の輪帯照明用回折光学素子の併用により、0.5~0.8の範囲で輪帯比を変更することが可能になる。

【0127】ところで、図23(a)を参照すると、図22(a)または(b)の右側で得られる2極状の二次光源に外接する円(図中破線で示す)の曲率と各半円弧状の面光源の外側円弧の曲率とが一致しないことがわかる。そこで、第2実施形態の第3変形例では、第1V溝アキシコン15または第2V溝アキシコン16の作用によって得られる2極状の二次光源に外接する円の曲率と半円弧状の各面光源の外側円弧の曲率とを一致させるために、第3の輪帯照明用回折光学素子を付設している。第3の輪帯照明用回折光学素子は、図23(b)に示すように、光軸AXを中心とした2つの円によって規定されるような完全な輪帯状の二次光源ではなく、X方向またはZ方向に沿ってわずかに扁平な楕円環状の二次光源を形成する。

【0128】さらに詳細には、第3の輪帯照明用回折光学素子により形成される楕円環状の二次光源は、一対の円弧状の面光源65aと65bとから構成され、各面光源65aおよび65bの外側円弧の曲率は第1V溝アキシコン15または第2V溝アキシコン16の作用によって得られる2極状の二次光源に外接する円の曲率と一致するように設定されている。したがって、第2実施形態の第3変形例では、第1V溝アキシコン15または第2V溝アキシコン16の作用によって得られる2極状の二次光源において、この2極状の二次光源に外接する円の曲率と、円弧状の各面光源各面光源65aおよび65bの外側円弧の曲率とが一致する。

【0129】さらに、4極照明用の回折光学素子11aまたは輪帯照明用の回折光学素子11bに代えて円形照明用の回折光学素子11cを照明光路中に設定すること

によって得られる通常の円形照明について簡単に説明する。この場合、回折光学素子11cに入射したほぼ平行光束は、アフォーカルレンズ12の瞳面に円形状の光強度分布を形成した後、ほぼ平行光束となってアフォーカルレンズ12から射出される。

【0130】アフォーカルレンズ12を介した光束は、ズームレンズ7を介して、マイクロフライアイ8aの入射面に、光軸AXを中心とした円形状の照野を形成する。その結果、マイクロフライアイ8aの後側焦点面(すなわち照明光学系の瞳)には、その入射光束によって形成される照野とはほぼ同じ光強度分布を有する二次光源、すなわち光軸AXを中心とした円形状の二次光源が形成される。

【0131】第2実施形態の円形照明では、標準状態で形成された最も小さい円形状の二次光源が、ズームレンズ7の焦点距離を最小値から所定の値へ拡大させることにより、その全体形状が相似的に拡大された円形状の二次光源に変化する。換言すると、第2実施形態の円形照明では、ズームレンズ7の焦点距離を変化させることにより、円形状の二次光源の大きさ(外径)を変更することができる。

【0132】図24は、第2実施形態の円形照明において形成される二次光源に対する第1V溝アキシコンおよび第2V溝アキシコンの作用を説明する図である。第2実施形態の円形照明では、第1V溝アキシコン15の間隔が零から所定の値に拡大すると、図24(a)に示すように、円形状の二次光源を構成する4つの四半円状の面光源66a~66dのうち、面光源66aおよび66cは-X方向に移動し、面光源66bおよび66dは+X方向に移動する。

【0133】一方、第2V溝アキシコン16の間隔が零から所定の値に拡大すると、図24(b)に示すように、面光源66aおよび66bは+Z方向に移動し、面光源66cおよび66dは-Z方向に移動する。さらに、第1V溝アキシコン15の間隔および第2V溝アキシコン16の間隔がともに零から所定の値に拡大すると、図24(c)に示すように、面光源66aは+Z方向および-X方向に移動し、面光源66bは+Z方向および+X方向に移動し、面光源66cは-Z方向および-X方向に移動し、面光源66dは-Z方向および+X方向に移動する。こうして、4つの独立した4半円状の面光源からなる4極状の二次光源を形成することができる。

【0134】以上、第2実施形態の円形照明における第1V溝アキシコン15、第2V溝アキシコン16およびズームレンズ7の作用を個別に説明したが、これらの光学部材の相互作用により様々な形態の円形照明が可能である。しかしながら、実際には、光学設計上の制約により、ズームレンズ7による外径の変倍範囲には制限がある。そこで、第2実施形態では、円形照明用の回折光学

素子11cとして、特性の異なる2種類の回折光学素子を備えている。

【0135】すなわち、第2実施形態では、一方の円形照明用回折光学素子により、比較的小さい $\sigma$ 値すなわち小 $\sigma$ から中間的な $\sigma$ 値すなわち中 $\sigma$ までの範囲で $\sigma$ 値を変更するのに適した形状を有する円形状の二次光源を形成する。また、他方の円形照明用回折光学素子により、中 $\sigma$ から比較的大きい $\sigma$ 値すなわち大 $\sigma$ までの範囲で $\sigma$ 値を変更するのに適した形状を有する円形状の二次光源を形成する。その結果、2種類の円形照明用回折光学素子の併用により、小 $\sigma$ から大 $\sigma$ までの範囲（たとえば $0.1 \leq \sigma \leq 0.95$ ）で $\sigma$ 値を変更することが可能になる。

【0136】以下、第2実施形態における照明条件の切り換え動作などについて具体的に説明する。まず、ステップ・アンド・リピート方式またはステップ・アンド・スキャン方式にしたがって順次露光すべき各種のマスクに関する情報などが、キーボードなどの入力手段20を介して制御系21に入力される。制御系21は、各種のマスクに関する最適な線幅（解像度）、焦点深度等の情報を内部のメモリ部に記憶しており、入力手段20からの入力にตอบสนองして駆動系24、26～28に適当な制御信号を供給する。

【0137】すなわち、最適な解像度および焦点深度のもとで4極照明する場合、駆動系26は制御系21からの指令に基づいて4極照明用の回折光学素子11aを照明光路中に位置決めする。そして、所望の形態を有する4極状の二次光源を得るために、駆動系28a～28cは制御系21からの指令に基づいてアキシコン14～16の間隔を設定し、駆動系24は制御系21からの指令に基づいてズームレンズ7の焦点距離を設定する。また、駆動系27は、制御系21からの指令に基づいて投影光学系PLの可変開口絞りを駆動する。

【0138】さらに、必要に応じて、駆動系28a～28cによりアキシコン14～16の間隔を変化させたり、駆動系24によりズームレンズ7の焦点距離を変化させたりすることにより、マイクロフライアイ8aの後側焦点面に形成される4極状の二次光源の形態を適宜変更することができる。こうして、4極状の二次光源の全体の大きさ（外径）および形状（輪帯比）、各面光源の位置、形状、大きさなどを適宜変化させて、多様な4極照明を行うことができる。

【0139】また、最適な解像度および焦点深度のもとで輪帯照明する場合、駆動系26は、制御系21からの指令に基づいて、輪帯照明用の回折光学素子11bを照明光路中に位置決めする。そして、所望の形態を有する輪帯状の二次光源を得るために、あるいは輪帯状の二次光源から派生的に得られる4極状の二次光源または2極状の二次光源を得るために、駆動系28a～28cは制御系21からの指令に基づいてアキシコン14～16の

間隔を設定し、駆動系24は制御系21からの指令に基づいてズームレンズ7の焦点距離を設定する。また、駆動系27は、制御系21からの指令に基づいて投影光学系PLの可変開口絞りを駆動する。

【0140】さらに、必要に応じて、駆動系28a～28cによりアキシコン14～16の間隔を変化させたり、駆動系24によりズームレンズ7の焦点距離を変化させたりすることにより、マイクロフライアイ8aの後側焦点面に形成される輪帯状の二次光源の形態、あるいは派生的に得られる4極状の二次光源または2極状の二次光源の形態を適宜変更することができる。こうして、輪帯状の二次光源の全体の大きさ（外径）および形状（輪帯比）、派生的に得られる各面光源の位置、形状、大きさなどを適宜変化させて、多様な輪帯照明を行うことができる。

【0141】さらに、最適な解像度および焦点深度のもとで通常の円形照明をする場合、駆動系26は、制御系21からの指令に基づいて、円形照明用の回折光学素子11cを照明光路中に位置決めする。そして、所望の形態を有する円形状の二次光源を得るために、あるいは円形状の二次光源から派生的に得られる4極状の二次光源または2極状の二次光源を得るために、駆動系28a～28cは制御系21からの指令に基づいてアキシコン14～16の間隔を設定し、駆動系24は制御系21からの指令に基づいてズームレンズ7の焦点距離を設定する。また、駆動系27は、制御系21からの指令に基づいて投影光学系PLの可変開口絞りを駆動する。

【0142】さらに、必要に応じて、駆動系28a～28cによりアキシコン14～16の間隔を変化させたり、駆動系24によりズームレンズ7の焦点距離を変化させたりすることにより、マイクロフライアイ8aの後側焦点面に形成される円形状の二次光源の形態、あるいは派生的に得られる4極状の二次光源または2極状の二次光源の形態を適宜変更することができる。こうして、円形状の二次光源の全体の大きさ（ひいては $\sigma$ 値）、派生的に得られる各面光源の位置、形状、大きさなどを適宜変化させて、多様な円形照明を行うことができる。

【0143】なお、第2実施形態では、光源側から順に、円錐アキシコン14と、第1V溝アキシコン15と、第2V溝アキシコン16とを配置しているが、この配置順序を適宜変化させることもできる。また、各アキシコン14～16では、光源側から順に、凹状の屈折面を有する第1プリズム部材と凸状の屈折面を有する第2プリズム部材とを配置しているが、この配置順序を逆にすることもできる。

【0144】また、第2実施形態では、各アキシコン14～16がそれぞれ一対のプリズム部材から構成されているが、これに限定されることなく、たとえば円錐アキシコン14の第2プリズム部材14bと第1V溝アキシコン15の第1プリズム部材15aとを一体化したり、

第1V溝アキシコン15の第2プリズム部材15bと第2V溝アキシコン16の第1プリズム部材16aとを一体化したりすることもできる。この場合、円錐アキシコン14の第1プリズム部材14a、一体化された2つのプリズム、および第2V溝アキシコン16の第2プリズム部材16bのうち少なくとも3つの部材を光軸AXに沿って移動させることにより、各アキシコン14~16の間隔をそれぞれ独立に変化させることができる。

【0145】図25は、本発明の第3実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。図26は、第3実施形態においてアフォーカルレンズの光路中に配置された一対のV溝アキシコンの構成を概略的に示す斜視図である。第3実施形態は、第2実施形態と類似の構成を有する。しかしながら、第2実施形態ではアフォーカルレンズ12の光路中に円錐アキシコンと一対のV溝アキシコンとが配置されているのに対し、第3実施形態では一対のV溝アキシコンだけが配置されている点が第2実施形態と基本的に相違している。以下、第2実施形態との相違点に着目して、第3実施形態を説明する。

【0146】第3実施形態の4極照明では、円錐アキシコンが配置されていないので、4極状の二次光源を構成する各面光源の円形状を楕円形状に変化させることはできない。しかしながら、複数の4極照明用回折光学素子11aを選択的に用いるとともに、第1V溝アキシコン15および第2V溝アキシコン16の作用を利用することにより、光軸AXを中心とする円環状の領域において、各面光源の位置を適宜変更することができる。また、ズームレンズ7の変倍作用を補助的に利用することにより、光軸AXを中心とする円環状の領域において、各面光源の位置および大きさを適宜変更することができる。

【0147】一方、第3実施形態の輪帯照明では、円錐アキシコンが配置されていないので、輪帯状の二次光源の輪帯比を連続的に変化させることはできない。しかしながら、複数の輪帯照明用回折光学素子11bを選択的に用いるとともに、第1V溝アキシコン15、第2V溝アキシコン16およびズームレンズ7の作用を利用することにより、輪帯状の二次光源の全体的な大きさおよび形状（輪帯比）、あるいは輪帯状の二次光源から派生的に得られる2極状の二次光源または4極状の二次光源を構成する各面光源の位置、形状および大きさを適宜変更することができる。

【0148】ところで、円形照明では、円錐アキシコンの作用を積極的に利用することはない。したがって、第3実施形態の円形照明においても第2実施形態の場合と同様に、円形状の二次光源の全体的な大きさ、あるいは円形状の二次光源から派生的に得られる2極状の二次光源または4極状の二次光源を構成する各面光源の位置、形状および大きさを適宜変更することができる。

【0149】図27は、本発明の第4実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。図28は、第4実施形態においてアフォーカルレンズの光路中に配置された円錐アキシコンおよび第1V溝アキシコンの構成を概略的に示す斜視図である。第4実施形態は、第2実施形態と類似の構成を有する。しかしながら、第2実施形態ではアフォーカルレンズ12の光路中に円錐アキシコンと一対のV溝アキシコンとが配置されているのに対し、第4実施形態では円錐アキシコンおよび第1V溝アキシコンだけが配置されている点が第2実施形態と基本的に相違している。以下、第2実施形態との相違点に着目して、第4実施形態を説明する。なお、図27および図28では、一方のV溝アキシコンとして第1V溝アキシコン15を示しているが、一方のV溝アキシコンは第2V溝アキシコン16であってもよい。

【0150】第4実施形態の4極照明では、一方のV溝アキシコン（15または16）しか配置されていないので、4極状の二次光源を構成する円形状の各面光源の形状および大きさを維持したままその位置だけを二次元的に変化させることはできない。しかしながら、複数の4極照明用回折光学素子11aを選択的に用いるとともに、円錐アキシコン14、一方のV溝アキシコン（15または16）、およびズームレンズ7の作用を利用することにより、光軸AXを中心とする円環状の領域において、各面光源の位置、形状および大きさを適宜変更することができる。

【0151】一方、第4実施形態の輪帯照明では、一方のV溝アキシコン（15または16）しか配置されていないので、輪帯状の二次光源から派生的に4極状の二次光源を得ることはできない。しかしながら、複数の輪帯照明用回折光学素子11bを選択的に用いるとともに、円錐アキシコン14、一方のV溝アキシコン（15または16）、およびズームレンズ7の作用を利用することにより、輪帯状の二次光源の全体的な大きさおよび形状（輪帯比）、あるいは輪帯状の二次光源から派生的に得られる2極状の二次光源を構成する各面光源の位置、形状および大きさを適宜変更することができる。

【0152】さらに、第4実施形態の円形照明では、一方のV溝アキシコン（15または16）しか配置されていないので、円形状の二次光源から派生的に4極状の二次光源を得ることはできない。しかしながら、複数の円形照明用回折光学素子11cを選択的に用いるとともに、円錐アキシコン14、一方のV溝アキシコン（15または16）、およびズームレンズ7の作用を利用することにより、円形状の二次光源の全体的な大きさ、あるいは円形状の二次光源から派生的に得られる2極状の二次光源を構成する各面光源の位置、形状および大きさを適宜変更することができる。

【0153】図29は、本発明の第5実施形態にかかる

照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。第5実施形態は、第2実施形態と類似の構成を有する。しかしながら、第5実施形態では、波面分割型のオプティカルインテグレータ（マイクロフライアイ8a）に代えて、内面反射型のオプティカルインテグレータ（ロッド型インテグレータ70）を用いている点が第2実施形態と基本的に相違している。以下、第2実施形態との相違点に着目して、第5実施形態を説明する。

【0154】第5実施形態では、マイクロフライアイ8aに代えてロッド型インテグレータ70を配置していることに対応して、回折光学素子11とロッド型インテグレータ70との間の光路中に、光源側から順に、ズームレンズ71、第2回折光学素子（またはマイクロフライアイ）72、およびインพุットレンズ73を配置している。また、照明視野絞りとしてのマスクブラインド17は、ロッド型インテグレータ70の射出面の近傍に配置されている。

【0155】ここで、ズームレンズ71は、その前側焦点位置が回折光学素子11の位置とほぼ一致し且つその後側焦点位置が第2回折光学素子72の位置とほぼ一致するように配置されている。なお、ズームレンズ71の焦点距離の変化は、制御系21からの指令に基づいて動作する駆動系29により行われる。また、インพุットレンズ73は、その前側焦点位置が第2回折光学素子72の位置とほぼ一致し且つその後側焦点位置がロッド型インテグレータ70の入射面の位置とほぼ一致するように配置されている。

【0156】ロッド型インテグレータ70は、石英ガラスや蛍石のような硝子材料からなる内面反射型のガラスロッドであり、内部と外部との境界面すなわち内面での全反射を利用して集光点を通りロッド入射面に平行な面に沿って内面反射数に応じた数の光源像を形成する。ここで、形成される光源像のほとんどは虚像であるが、中心（集光点）の光源像のみが実像となる。すなわち、ロッド型インテグレータ70に入射した光束は内面反射により角度方向に分割され、集光点を通りその入射面に平行な面に沿って多数の光源像からなる二次光源が形成される。

【0157】したがって、第5実施形態の4極照明（輪帯照明または円形照明）では、照明光路に選択的に設置された回折光学素子11a（11bまたは11c）を通過した光束が、ズームレンズ71を介して、第2回折光学素子72上に4極状（輪帯状または円形状）の照野を形成する。第2回折光学素子72を通過した光束は、インพุットレンズ73を介して、ロッド型インテグレータ70の入射面の近傍に集光する。図30は、第5実施形態における第2回折光学素子の作用を説明する図である。

【0158】図30（a）に示すように、第2回折光学素子72が配置されていない場合、ズームレンズ71お

よびインพุットレンズ73を介した光束が、ロッド型インテグレータ70の入射面70a上においてほぼ一点に集光する。その結果、ロッド型インテグレータ70によりその入射側に形成される多数の光源が非常に散逸的になり（二次光源全体に対する各光源の充填率が小さくなり）、実質的な面光源を得ることができなくなってしまう。

【0159】そこで、第5実施形態では、光束発散素子としての第2回折光学素子72をインพุットレンズ73の前側焦点位置の近傍に配置している。こうして、図30（b）に示すように、第2回折光学素子72を介して発散された光束が、インพุットレンズ73を介して、ロッド型インテグレータ70の入射面70a上において所定の広がりをもって集光する。その結果、ロッド型インテグレータ70によりその入射側に形成される多数の光源が非常に密実になり（二次光源全体に対する各光源の充填率が大きくなり）、実質的な面光源としての二次光源を得ることができる。

【0160】ロッド型インテグレータ70によりその入射側に形成された4極状（輪帯状または円形状）の二次光源からの光束は、その射出面において重畳された後、マスクブラインド17および結像光学系18を介して、所定のパターンが形成されたマスクMを照明する。なお、第5実施形態では、ズームレンズ71の前側レンズ群71aと後側レンズ群71bとの間の光路中に、光源側から順に、円錐アキシコン14、第1V溝アキシコン15、および第2V溝アキシコン16が配置されている。

【0161】したがって、第5実施形態の4極照明においても第2実施形態と同様に、複数の4極照明用回折光学素子11aを選択的に用いるとともに、円錐アキシコン14、第1V溝アキシコン15、第2V溝アキシコン16、およびズームレンズ71の作用を利用することにより、光軸AXを中心とする円環状の領域において、輪帯状の二次光源を構成する各面光源の位置、形状および大きさを適宜変更することができる。

【0162】また、第5実施形態の輪帯照明においても第2実施形態と同様に、複数の輪帯照明用回折光学素子11bを選択的に用いるとともに、円錐アキシコン14、第1V溝アキシコン15、第2V溝アキシコン16、およびズームレンズ71の作用を利用することにより、輪帯状の二次光源の全体的な大きさおよび形状（輪帯比）、あるいは輪帯状の二次光源から派生的に得られる2極状の二次光源または4極状の二次光源を構成する各面光源の位置、形状および大きさを適宜変更することができる。

【0163】さらに、第5実施形態の円形照明においても第2実施形態と同様に、複数の円形照明用回折光学素子11cを選択的に用いるとともに、円錐アキシコン14、第1V溝アキシコン15、第2V溝アキシコン16

6、およびズームレンズ71の作用を利用することにより、円形状の二次光源の全体的な大きさ、あるいは円形状の二次光源から派生的に得られる2極状の二次光源または4極状の二次光源を構成する各面光源の位置、形状および大きさを適宜変更することができる。

【0164】以上のように、第2実施形態～第5実施形態においても、V溝アキシコン15または16の間隔を変化させることにより、二次光源の全体の大きさおよび形状がX方向またはZ方向に変化する。その結果、マスクM上の直交する二方向(X方向およびY方向)で互いに異なる照明条件を実現することができ、ひいてはパターンに方向性があるマスクM上の直交する二方向で最適な照明条件を設定することができる。

【0165】なお、上述の第2実施形態～第5実施形態のうち、可変手段として一对のV溝アキシコン15および16だけを備えた第3実施形態は、メモリー(DRAMなど)のリソグラフィー工程に特に好適である。また、可変手段として円錐アキシコン14と一方のV溝アキシコン(15または16)とだけを備えた第4実施形態は、ロジックデバイス(MPUなど)のリソグラフィー工程に特に好適である。さらに、可変手段として円錐アキシコン14と一对のV溝アキシコン15および16とを備えた第2実施形態および第5実施形態は、半導体デバイスを含む一般的なマイクロデバイスのリソグラフィー工程に好適である。

【0166】ところで、以上の第5実施形態(図29を参照)では、アキシコン系(14、15、16)のマスク側に配置されたオプティカルインテグレータを内面反射型オプティカルインテグレータ(ロッド型オプティカルインテグレータ)70とした例を説明したが、前述したオプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズ8やマイクロフライアイ8aを内面反射型オプティカルインテグレータ(ロッド型オプティカルインテグレータ)70と置き換えることもできることは言うまでもない。

【0167】また、以上の第2実施形態、第3実施形態、および第5実施形態(図10、図25および図29を参照)では、第1V溝アキシコン15のV溝の方向をZ方向( $0^\circ$ 方向)とし、第2V溝アキシコン16のV溝の方向をX方向( $90^\circ$ 方向)とした例を示したが、本発明はこの配置に限定されるものではなく、例えば、第1V溝アキシコン15のV溝の方向を光軸中心に時計回りに $45^\circ$ 回転した方向( $45^\circ$ 方向)とし、第2V溝アキシコン16のV溝の方向を光軸中心に時計回りに $45^\circ$ 回転した方向( $135^\circ$ 方向)等にすることができる。これにより、マイクロフライアイ8aに入射する溝の影が斜めとなり照度むらを低減できる効果が期待できる。さらには、第1V溝アキシコン15のV溝の方向と第2V溝アキシコン16のV溝の方向とのなす角(交差角)を望まれる照明条件に応じて任意に変更すること

ができる。以上の如く、2つのV溝アキシコンの溝の交差角を変更するには、制御系21は、入力手段20を介して入力された入力情報に基づいて駆動系28bと駆動系28cとの少なくとも一方を駆動させて、第1V溝アキシコン15と第2V溝アキシコン16とを光軸中心に相対的に回転させれば良い。

【0168】さらに、以上の第4実施形態(図27を参照)では、V溝アキシコン15のV溝の方向をZ方向( $0^\circ$ 方向)とした例を示したが、本発明はこの配置に限定されるものではなく、例えば、V溝アキシコン15のV溝の方向を光軸中心に $45^\circ$ 回転した方向( $45^\circ$ 方向)、 $90^\circ$ 回転した方向( $90^\circ$ 方向)、 $135^\circ$ 回転した方向( $135^\circ$ 方向)等にすることができる。すなわち、V溝アキシコン15のV溝の方向を望まれる照明条件に応じて任意に変更することができる。以上の如く、V溝アキシコンの溝の方向を変更するには、制御系21は、入力手段20を介して入力された入力情報に基づいて駆動系28bを駆動させて、V溝アキシコン15を光軸中心に所定の回転量だけ回転させれば良い。

【0169】また、以上の各実施形態では、回折光学素子(11a、11b、11c)と $\sigma$ 値可変用のズームレンズ7(変倍光学系)との併用で $\sigma$ 値の可変範囲を0.1から0.95( $0.1 \leq \sigma \leq 0.95$ )とすることが好ましいが、 $\sigma$ 値可変用のズームレンズ7(変倍光学系)を構成するレンズ枚数やそのスペース等の制約が解消されれば、装置として要求される0.1～0.95の $\sigma$ 値の範囲を連続的に可変とすることができる。

【0170】また、以上の第1実施形態～第5実施形態における輪帯照明において、照明光学系の瞳(投影光学系の瞳)に形成される輪帯光束は、0.4～0.95の $\sigma$ 値の範囲( $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$ )内で輪帯比を可変とすることが望ましい。さらに、以上の第1実施形態～第5実施形態における2極照明や4極照明を始めとした多極照明において、照明光学系の瞳(投影光学系の瞳)に形成される多極状光束は、0.4～0.95の $\sigma$ 値の範囲( $0.4 \leq \sigma \leq 0.95$ )内で位置や大きさを可変とすることが望ましい。

【0171】さらに、また、以上の第1実施形態～第5実施形態において、投影光学系PLに残存する収差または経時的に変化する収差(波面収差等)を計測するために、例えば、米国特許第5,828,455号や米国特許第5,978,085号等に開示されている収差計測用マスク(収差計測用レチクル)をマスク(レチクル)Mを保持する不図示のマスクステージMSに載置し、その収差計測用マスクに対して適切な照明をすることによって、投影光学系PLの収差(波面収差等)を高精度に計測することが可能である。ここで、投影光学系PLの収差(波面収差等)を高精度に計測し得る照明条件をさまざまな角度から研究を進めてきた結果、照明光学系の $\sigma$ 値を $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$ の範囲の何れかに設定する

ことが好ましいことが判明した。さらに、投影光学系P Lの収差(波面収差等)をより一層、高精度に計測するには、照明光学系の $\sigma$ 値を $0.02 \leq \sigma \leq 0.2$ の範囲の何れかに設定することがより一層好ましい。このように、照明光学系の $\sigma$ 値を $0.01 \leq \sigma \leq 0.3$ の範囲または $0.02 \leq \sigma \leq 0.2$ の範囲に照明条件を設定するには、以上の各実施形態における照明条件設定手段(4a, 4b, 5, 7, 10, 11a~11c, 12, 14~16, 71, 71a)の一部を構成する回折光学素子(11a, 11b; 11c)の代わりに、極小 $\sigma$ 値を設定する計測用の回折光学素子を設定すれば良い。なお、以上の第1実施形態~第5実施形態の投影光学系P Lに収差が発生している場合には、計測された収差情報を入力手段20を入力し、制御系21は、例えば、入力手段20を介して入力された収差情報に基づいて不図示の駆動系を介して、投影光学系P Lを構成する少なくとも1つの光学素子(レンズやミラー等)を移動(投影光学系P Lの光軸方向の移動、光軸と直交する方向の移動、光軸に対して傾斜、光軸回りに回転)させることにより、投影光学系P Lの収差を始めとした光学特性の悪化を補正することができる。

【0172】また、以上の第1実施形態~第5実施形態に示した装置を走査型露光装置とした場合には、照明光学系はマスクM上にスリット状(短手方向と長手方向とを有する長方形状)の照明領域(図1、図10、図25、図27および図29の紙面方向又は走査方向に短手方向を有する照明領域)を、ウェハW上にスリット状の露光領域を形成し、不図示のマスキングステージMSに保持されたマスクと、不図示のウェハステージ(基板ステージ)WSに保持されたウェハ(基板)とを走査方向(図1、図10、図25、図27および図29の紙面方向)に沿って反対向きへ移動させることにより、マスクMのパターン像が投影光学系P Lを介してウェハW上に形成される。この場合、不図示のマスキングステージMS及び不図示のウェハステージ(基板ステージ)WSは、不図示の各ステージを駆動させる駆動装置を介して制御系21によって制御される。

【0173】以上の各実施形態に示した装置において、オブティカルインテグレートとしてのフライアイレンズ(アレイ状光学素子)8やマイクロフライアイ(マイクロアレイ状光学素子)8aを構成する多数の光学素子(レンズ素子)の個々の断面形状は、マスクM上に形成されるスリット状(短手方向と長手方向とを有する長方形状)の照明領域、およびウェハW上に形成されるスリット状(短手方向と長手方向とを有する長方形状)の露光領域と相似とすることが好ましい。

【0174】また、以上の各実施形態に示した如く、オブティカルインテグレートとしてのフライアイレンズ(アレイ状光学素子)8やマイクロフライアイ(マイクロアレイ状光学素子)8aを内面反射型オブティカルイ

ンテグレート(ロッド型オブティカルインテグレート)に置き換えた走査型露光装置の場合、および第5実施形態の如くオブティカルインテグレート(ロッド型オブティカルインテグレート)とした走査型露光装置の場合、内面反射型オブティカルインテグレート(ロッド型オブティカルインテグレート)の断面形状は、マスクM上に形成されるスリット状(短手方向と長手方向とを有する長方形状)の照明領域、およびウェハW上に形成されるスリット状(短手方向と長手方向とを有する長方形状)の露光領域と相似とすることが好ましい。

【0175】なお、以上の各実施形態に示した装置を走査型露光装置とした場合、投影光学系P Lの大型化及び複雑化を招くことなく効率良く広い視野を保ちながら、高いスループットのもとでの走査露光を達成するためには、マスクM上に形成されるスリット状の照明領域(またはウェハW上に形成されるスリット状の露光領域)における短手方向の長さを $L_s$ とし、その照明領域の長手方向の長さを $L_l$ とすると、 $0.05 < L_s/L_l < 0.7$ の関係を満たすことが好ましい。以上の各実施形態に示した走査型露光装置では、例えば、 $L_s/L_l = 1/3$ としている。

【0176】上述の各実施形態にかかる露光装置では、照明光学装置によってマスク(レチクル)を照明し(照明工程)、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する(露光工程)ことにより、マイクロデバイス(半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等)を製造することができる。以下、上述の各実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図8のフローチャートを参照して説明する。

【0177】まず、図8のステップ301において、1ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ302において、その1ロットのウェハ上の金属膜上にフォトリソが塗布される。その後、ステップ303において、上述の各実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その1ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ304において、その1ロットのウェハ上のフォトリソの現像が行われた後、ステップ305において、その1ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことによって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ること

ができる。

【0178】また、上述の各実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、図9のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。図9において、パターン形成工程401では、上述の各実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レチクル剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

【0179】次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列したカラーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程402の後に、セル組み立て工程403が実行される。セル組み立て工程403では、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程403では、例えば、パターン形成工程401にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程402にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

【0180】その後、モジュール組み立て工程404にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスルーブット良く得ることができる。

【0181】なお、上述の各実施形態では、変形照明において4極状や輪帯状の二次光源を例示的に形成しているが、光軸に対して偏心した2つの面光源からなる2極状の二次光源や、光軸に対して偏心した8つの面光源からなる8極状の二次光源のような、いわゆる複数極状あるいは多極状の二次光源を形成することもできる。

【0182】また、上述の各実施形態では、照明光学装置を備えた投影露光装置を例にとって本発明を説明したが、マスク以外の被照射面を照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することができることは明らかである。

【0183】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の照明光学装置では、オプティカルインテグレートへの入射光束の所定方向に沿った入射角度を変化させるために、入射光束の縦横比を変更する縦横比変更素子を備えている。したがって、この縦横比変更素子の作用により、二次光源の全体の大きさを所定方向に沿って変化させることができ、ひいては被照射面上の直交する二方向で互いに異なる照明条件を実現することができる。

【0184】したがって、本発明の照明光学装置を組み込んだ露光装置では、パターンに方向性があるマスク上の直交する二方向で最適な照明条件を設定することができ、良好な照明条件のもとで良好なマイクロデバイスを製造することができる。さらに、また、本発明は、適切な照明条件のもとでマスクのパターンを正確に転写することができ、同時に、マスクのパターンを正確に転写するのに際して、投影光学系の光学性能を高精度で確認し得る露光装置や露光方法等を実現でき、さらには良好なマイクロデバイスを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】フライアイレンズの後側焦点面に形成される4極状の二次光源の構成を概略的に示す図である。

【図3】アフォーカルズームレンズの光路中に配置されたV溝アキシコンを構成する一対のアリズムの構成を概略的に示す図である。

【図4】V溝アキシコンの間隔の変化、アフォーカルズームレンズの倍率の変化、およびズームレンズの焦点距離の変化が4極状の二次光源に及ぼす影響を模式的に説明する図である。

【図5】V溝アキシコンの間隔の変化、アフォーカルズームレンズの倍率の変化、およびズームレンズの焦点距離の変化が輪帯状の二次光源に及ぼす影響を模式的に説明する図である。

【図6】V溝アキシコンの屈折面形状に関する変形例を示す図である。

【図7】V溝アキシコンの回転および組み合わせに関する変形例を示す図である。

【図8】マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

【図9】マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

【図10】本発明の第2実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図11】第2実施形態においてアフォーカルレンズの前側レンズ群と後側レンズ群との間の光路中に配置された3つのアキシコンの構成を概略的に示す斜視図である。

【図12】第2実施形態の4極照明において形成される二次光源に対する円錐アキシコンの作用を説明する図で

ある。

【図13】第2実施形態の4極照明において形成される二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。

【図14】第2実施形態の4極照明において形成される二次光源に対する第1V溝アキシコンおよび第2V溝アキシコンの作用を説明する図である。

【図15】第2実施形態の4極照明において形成される円形状の各面光源に対する円錐アキシコン、ズームレンズ、第1V溝アキシコンおよび第2V溝アキシコンの作用を説明する図である。

【図16】第2実施形態において特性の異なる3種類の4極照明用回折光学素子を介して形成される各面光源およびその移動範囲について説明する図である。

【図17】第2実施形態の第1変形例において特性の異なる4種類の4極照明用回折光学素子を介して形成される各面光源並びにその移動および変形について説明する図である。

【図18】第2実施形態の第1変形例において特性の異なる4種類の4極照明用回折光学素子を介して形成される各面光源並びにその移動および変形について説明する図である。

【図19】第2実施形態の第2変形例において特性の異なる2種類の4極照明用回折光学素子を介して形成される各面光源並びにその移動および変形について説明する図である。

【図20】第2実施形態の輪帯照明において形成される二次光源に対する円錐アキシコンの作用を説明する図である。

【図21】第2実施形態の輪帯照明において形成される二次光源に対するズームレンズの作用を説明する図である。

【図22】第2実施形態の輪帯照明において形成される二次光源に対する第1V溝アキシコンおよび第2V溝アキシコンの作用を説明する図である。

【図23】第2実施形態の第3変形例を説明する図である。

【図24】第2実施形態の円形照明において形成される二次光源に対する第1V溝アキシコンおよび第2V溝アキシコンの作用を説明する図である。

【図25】本発明の第3実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図26】第3実施形態においてアフォーカルレンズの光路中に配置された一対のV溝アキシコンの構成を概略的に示す斜視図である。

【図27】本発明の第4実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図28】第4実施形態においてアフォーカルレンズの光路中に配置された円錐アキシコンおよび第1V溝アキシコンの構成を概略的に示す斜視図である。

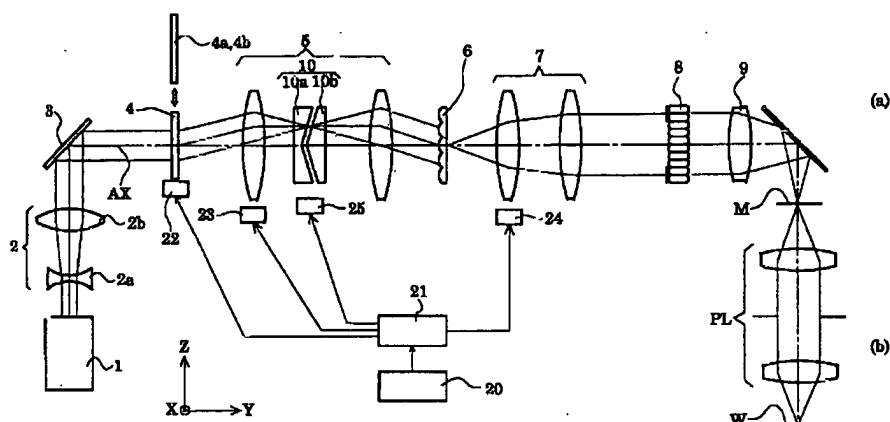
【図29】本発明の第5実施形態にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図30】第5実施形態における第2回折光学素子の作用を説明する図である。

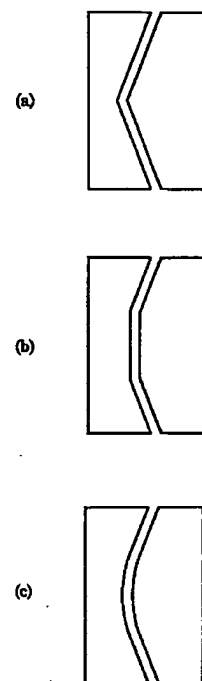
#### 【符号の説明】

- 1 光源
- 4 回折光学素子
- 5 アフォーカルズームレンズ
- 6 マイクロフライアイ
- 7 ズームレンズ
- 8 フライアイレンズ
- 8a マイクロフライアイ
- 9 コンデンサー光学系
- 10 V溝アキシコン
- 11, 72 回折光学素子
- 12 アフォーカルレンズ
- 14 円錐アキシコン
- 15, 16 V溝アキシコン
- 17 マスクブラインド
- 18 結像光学系
- 70 ロッド型インテグレータ
- 71 ズームレンズ
- 73 インพุットレンズ
- M マスク
- PL 投影光学系
- W ウェハ
- 20 入力手段
- 21 制御系
- 22~29 駆動系

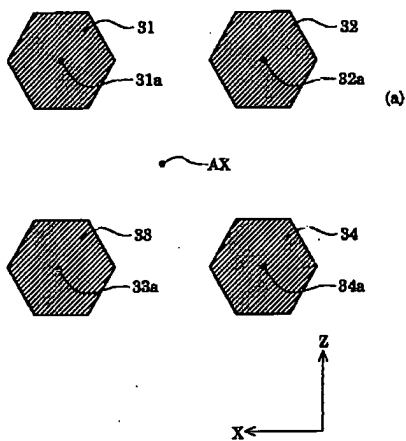
【图1】



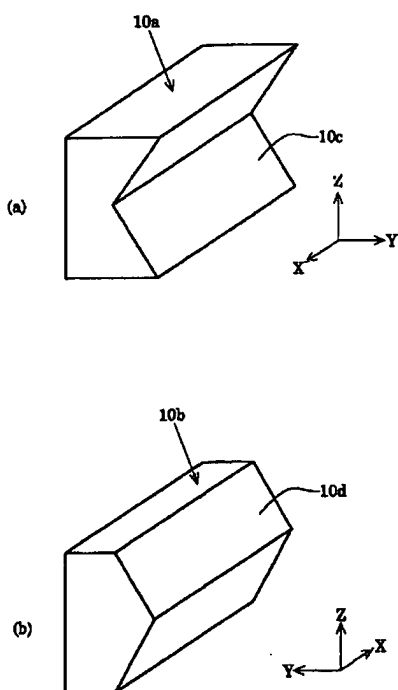
【図6】



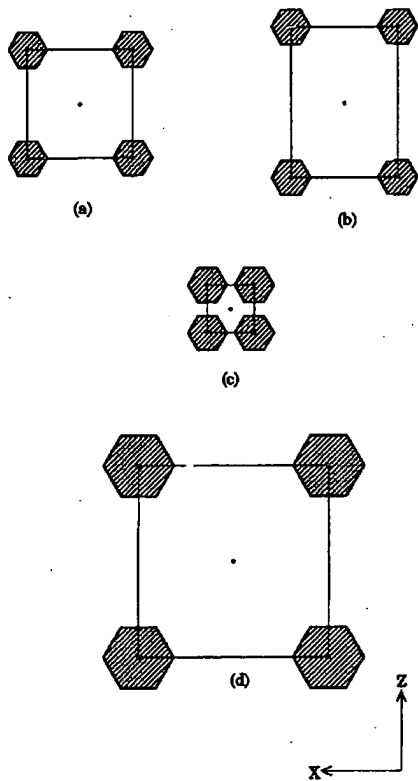
【図2】



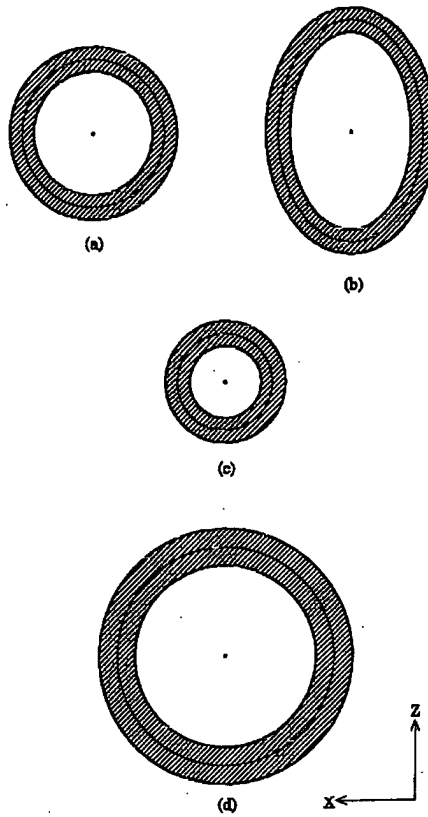
【図3】



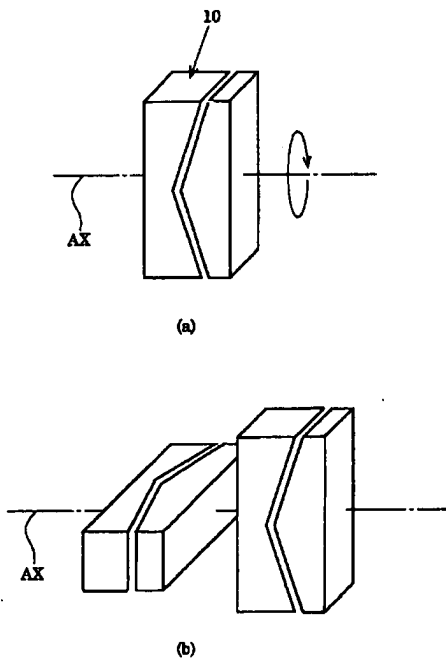
【図4】



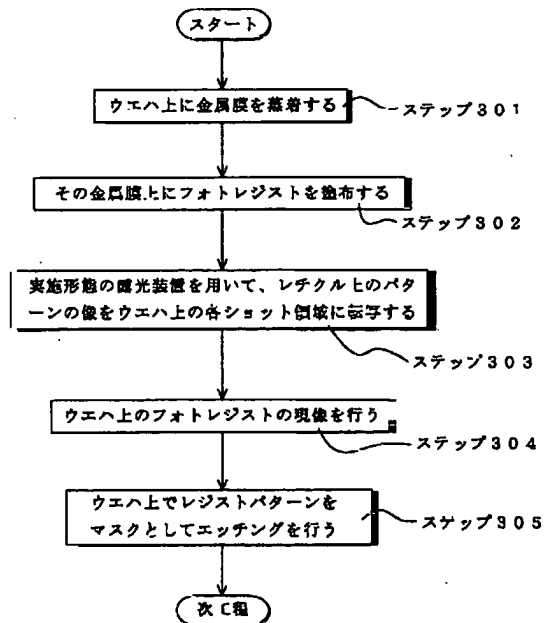
【図5】



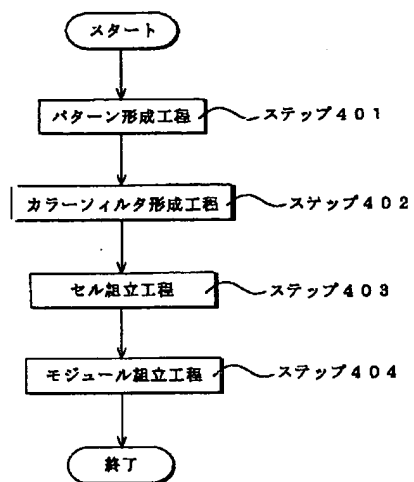
【図7】



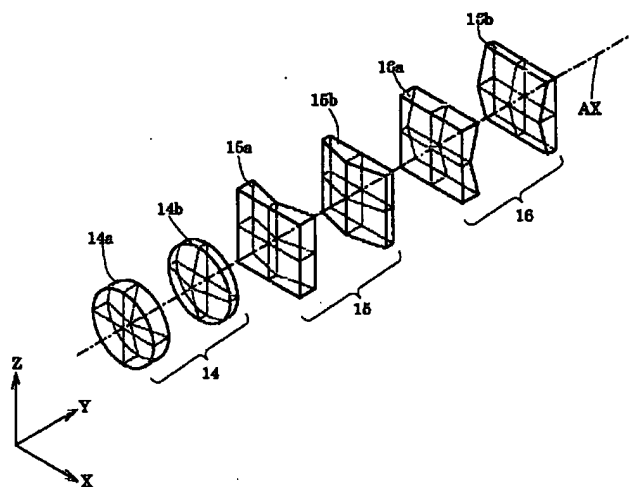
【図8】



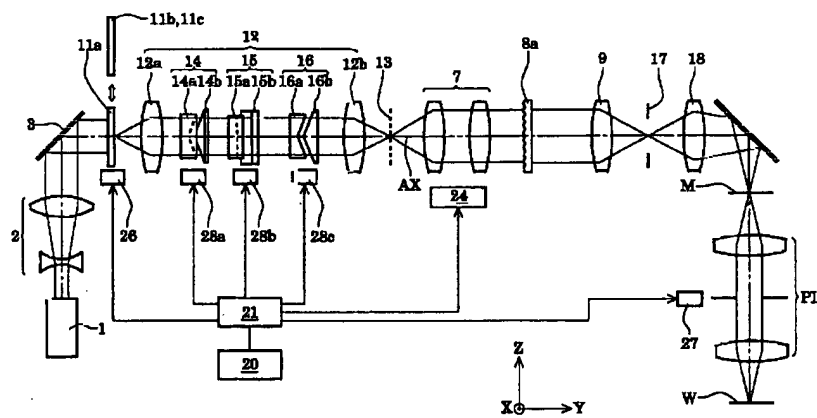
【図9】



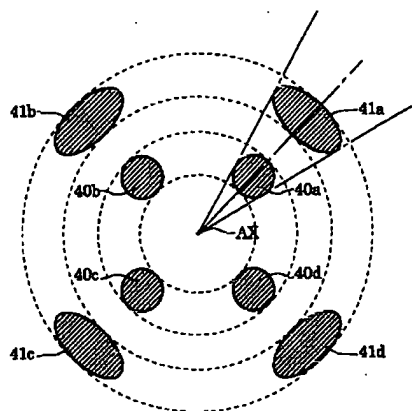
【図 11】



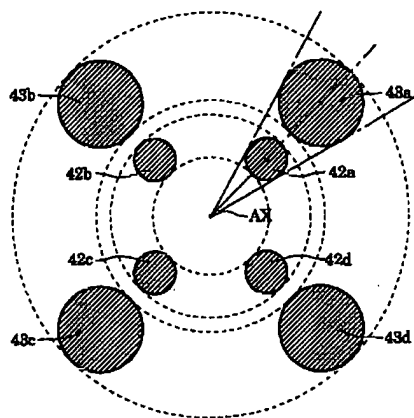
【☒10】



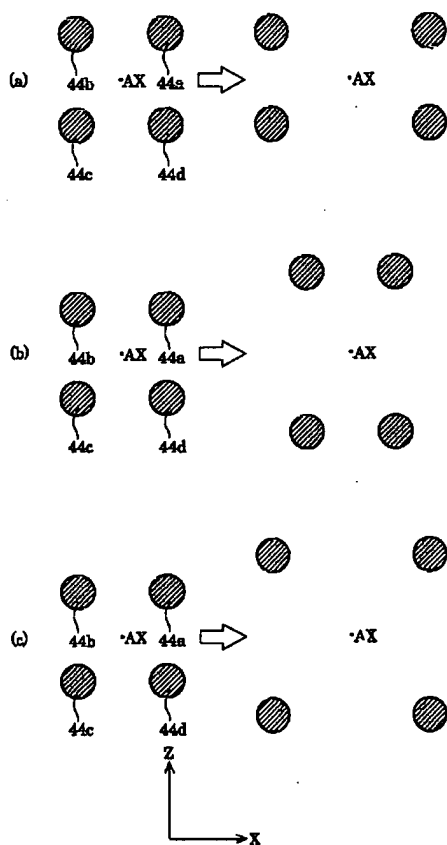
【図12】



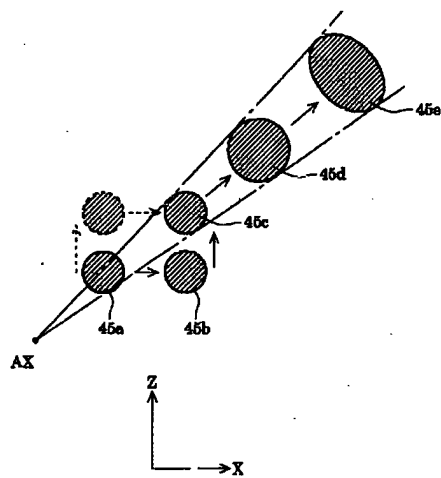
【図13】



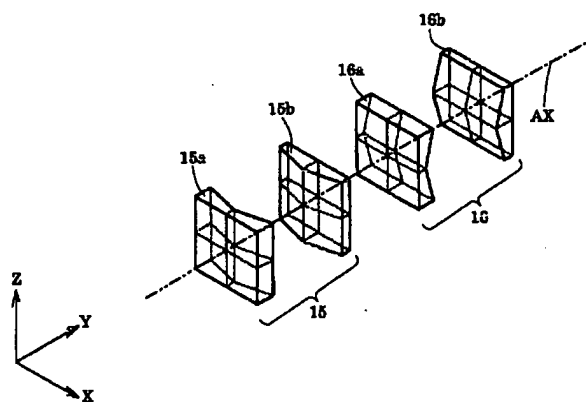
【図14】



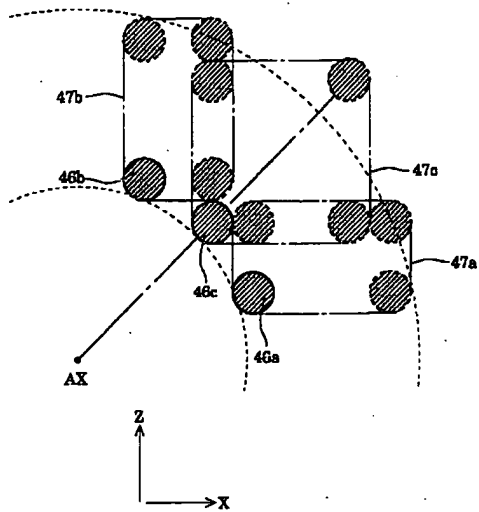
【図15】



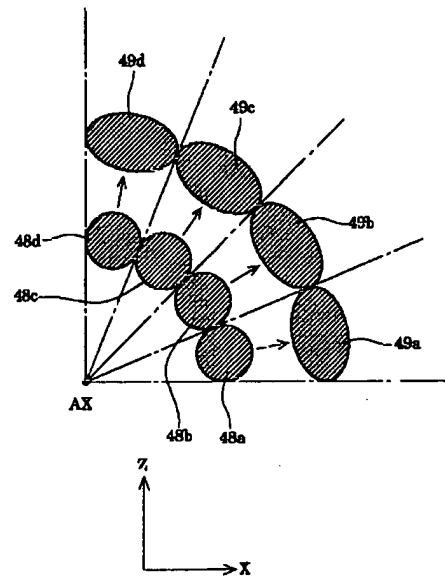
【図26】



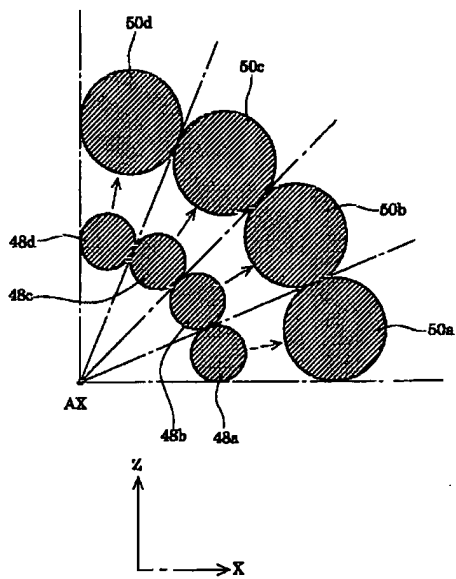
【図16】



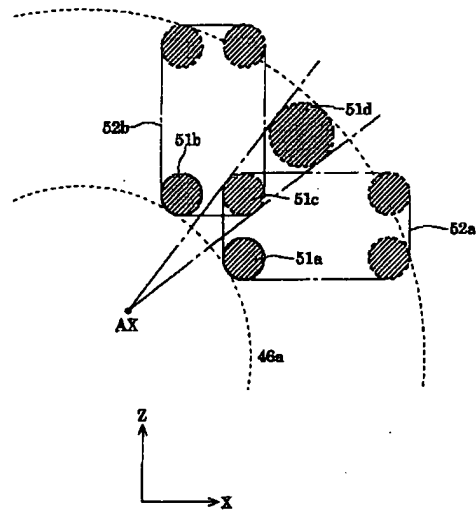
【図17】



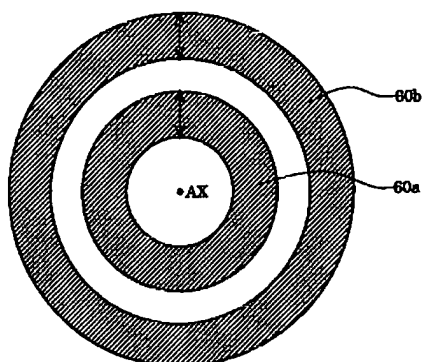
【図18】



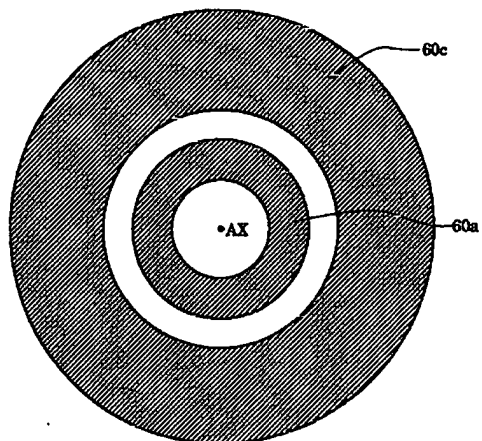
【図19】



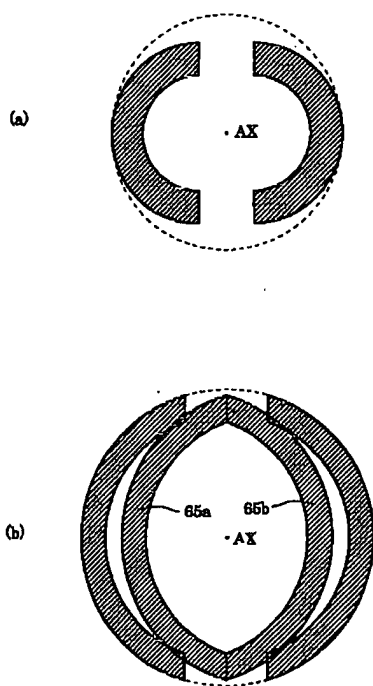
【図20】



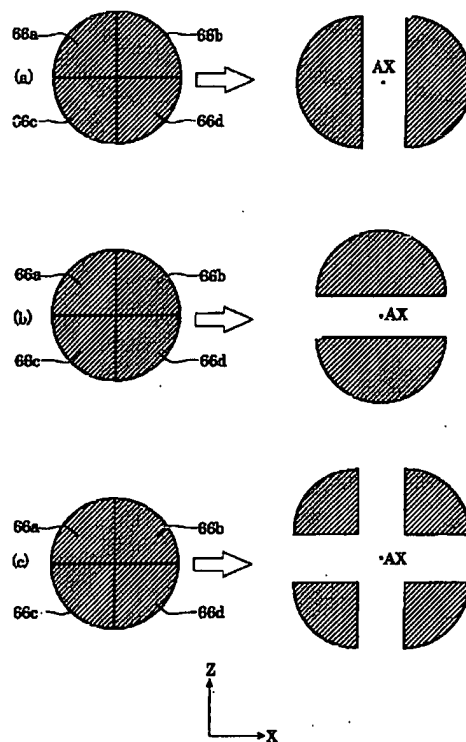
【図21】



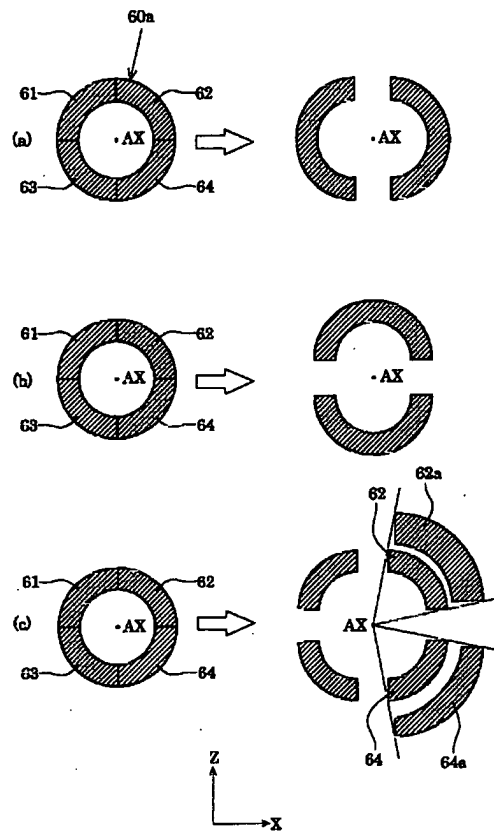
【図23】



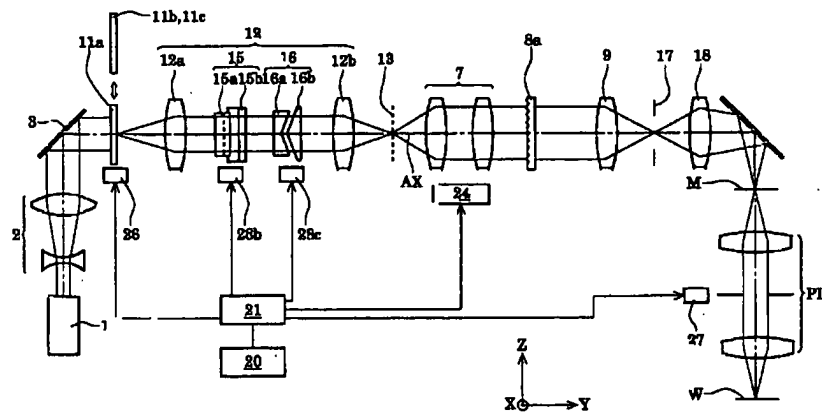
【図24】



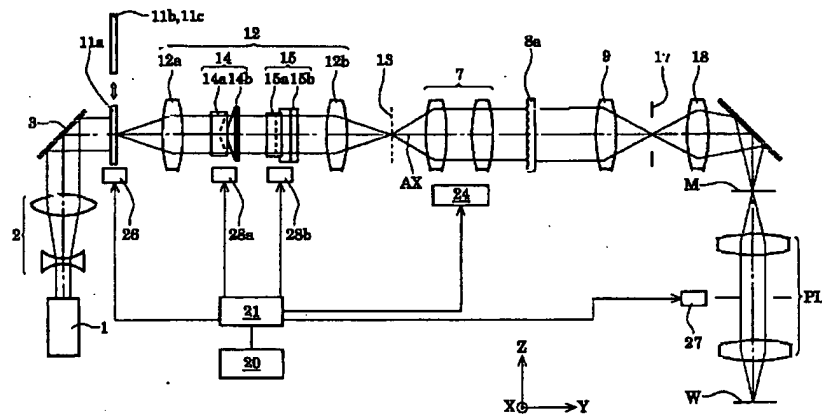
【図22】



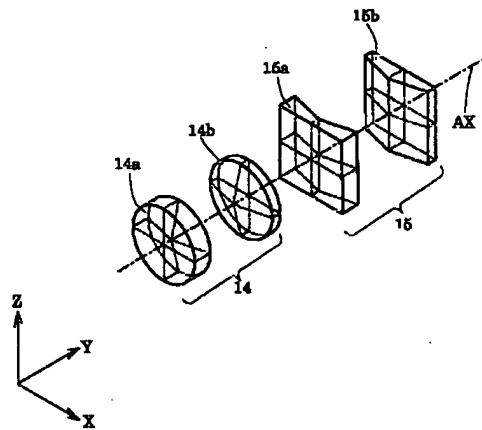
【図25】



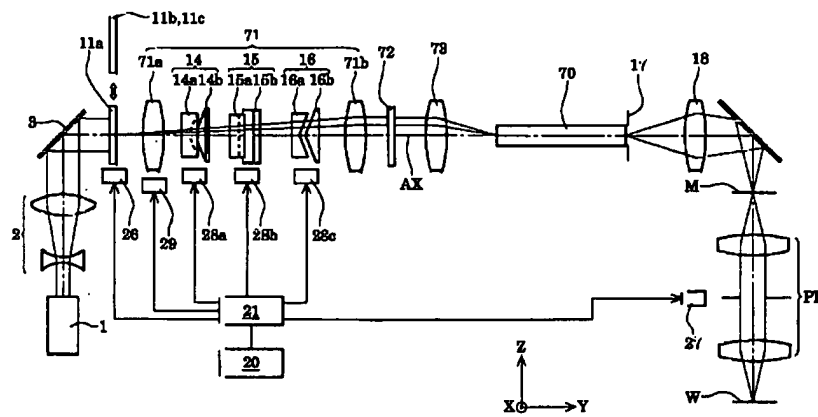
【図27】



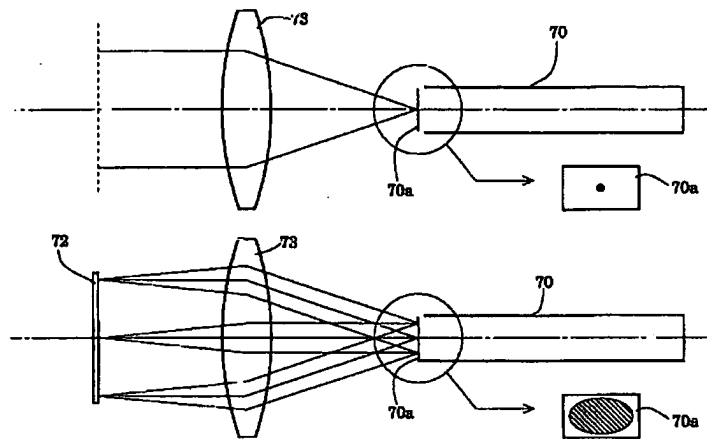
【図28】



【図29】



【図30】



フロントページの続き

(72)発明者 豊田 光紀  
東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株  
式会社ニコン内

Fターム(参考) 2H042 CA00 CA17  
2H052 BA02 BA03 BA09 BA12  
5F046 BA04 BA05 CB10 CB12 CB13  
CB23 DA01